Über

# Isolations-Messungen

an

# Leitungen für elektrische Beleuchtung.

---

Inaugural-Dissertation

zur

**Erlangung der Doktorwürde**

der

**Hohen philosophischen Fakultät der k. Ludwigs-Maximilians-Universität München**

vorgelegt von

**Adolf Förderreuther**

Assistent am elektrotechnischen Laboratorium der k. technischen Hochschule München.

**München.**

Druck von R. Oldenbourg.

1889.

Über

# Isolations-Messungen

an

# Leitungen für elektrische Beleuchtung.

---

Inaugural-Dissertation

zur

**Erlangung der Doktorwürde**

der

**Hohen philosophischen Fakultät der k. Ludwigs-Maximilians-Universität München**

vorgelegt von

**Adolf Förderreuther**

Assistent am elektrotechnischen Laboratorium der k. technischen Hochschule München.

**München.**

Druck von R. Oldenbourg.

1889.

# Isolationsmessungen an Leitungen für elektrische Beleuchtung.

## I.

Nachdem die elektrische Beleuchtung so gewaltige Fortschritte gemacht hat und die Installationen elektrischer Beleuchtungsanlagen sich von Tag zu Tag mehren, ist man gezwungen, der Isolation der Leitungsanlagen und deren Prüfung die gröfste Aufmerksamkeit zuzuwenden. Früher beschränkte man sich darauf, sich mit Hilfe eines Induktionsapparates und eines Klingelwerkes oder eines einfachen Galvanoskops zu überzeugen, dafs die Isolation der betr. Leitung nicht schlecht sei. Genauere Messungen auf diesem Gebiete machte erst 1883 Herr Ph. Seubel[1]), indem er direkt sich über den absoluten Wert der Isolationswiderstände der von ihm verlegten Leitungen vergewisserte.

Er benutzte dazu die Methode von Ohm, mafs also den Isolationswiderstand der Leitung gegen die Erde dadurch, dafs er die Pole einer Batterie von anfangs nur 3—4, später von 84 Chlorsilberelementen à 1,2 Volt durch ein sehr empfindliches Galvanometer und den zu prüfenden Isolationswiderstand einerseits, durch eine Erdleitung andrerseits schlofs.

Sehr umfangreiche Isolationsmessungen unternahm im verflossenen Jahre Herr Dr. A. v. Waltenhofen[2]) im neuen Hofburgtheater in Wien, indem er gleichfalls nach der Ohm'schen Methode eine Batterie von 50 Chlorsilberelementen mit dem einen Pol an Erde, mit dem andern durch ein Weinhold'sches Spiegelgalvanometer an die zu prüfende Leitung anlegte. Ist $s$ die Anzahl der abgelesenen Skalenteile bei $n$ Elementen und dem Vergleichswiderstand $W$, $s^1$ die Ablesung bei $n^1$ Elementen und dem Isolationswiderstand $x$, so ist

$$C\,s = n \cdot E : W$$
$$C \cdot s^1 = n_1\ E : x$$
$$x = \frac{n_1}{n} \cdot \frac{s}{s^1} \cdot W.$$

Da die Widertände derartiger Isolationen von den wirkenden Spannungen, wenn auch vorerst noch in unbekannter Weise, abhängen, so suchte Herr Direktor Uppenborn sich den praktischen Verhältnissen entsprechende Werte der Isolationswiderstände dadurch zu verschaffen, dafs er bei Anwendung der Methode von Ohm die jeweilige Betriebs-Dynamomaschine bei voller Spannung als Stromquelle benutzte. In jeder Beleuchtungsanlage gehen vom Maschinenhaus mehrere Leitungssysteme aus; Uppenborn benutzt ein System $A$ als Betriebsleitung, um die Maschine auf ihre Spannung zu bringen, leitet einen Pol der Dynamomaschine zur Erde ab und setzt den andern durch ein Torsionsgalvanometer und einen Widerstandskasten mit dem Leitungsnetz $B$ in Verbindung.[1]) Ist der Vergleichswiderstand 1000 $\Omega$, die Ablenkung bei Anlagen der Maschinenspannung von $\Delta$ $V$ bei vorgeschaltetem Widerstand von 1000 $\Omega$ gleich $\alpha$, bei noch dazu eingeschalteten Isolationswiderstand $x^1$ gleich $\alpha_1$, so ist

$$x = 1000 \cdot \frac{\alpha}{\alpha_1} - 1000\ \Omega$$

oder sind die Ablenkungen $\alpha$ bei 1000 $\Omega$, $\alpha_2$ bei $x$ $\Omega$, so ist

$$x = \frac{\alpha}{\alpha_2} \cdot 1000\ \Omega$$

[1]) Bericht von Ph. Seubel. Centralbl. für Elektrotechnik 1888 S. 777.

[2]) Mitteilungen über Isolationsmessungen im neuen Hofburgtheater in Wien von Dr. A. v. Waltenhofen. Centralbl. für Elektrotechnik 1889 S. 15 und 35.

[1]) Centralbl. für Elektrotechnik 1888 S. 586.

Ferner macht Uppenborn auch auf das Ansteigen des Isolationswiderstandes aufmerksam, wenn die Leitung längere Zeit an den Pol der Maschine angelegt war und er zeigt weiter aus einer gröfseren Messungsreihe des Isolationswiderstandes ein und derselben Leitung zu verschiedenen Zeiten den variablen Wert desselben. Derselbe betrug z. B. an einer Leitung am 12. Juli 55 000 $\Omega$, am 21. Juli 6 900 $\Omega$ und am 1. August 11 000 $\Omega$.

Professor Andrew Jamieson[1]) empfiehlt zur eigentlichen Isolationsmessung die Verwendung nur schwacher Batterien, 10—12 $V$, doch soll derselben eine Prüfung mit einer Spannung gleich etwa dem doppelten Werte der Betriebsspannung vorausgehen, um etwaige Fehler sofort aufzulegen; der Ohm'schen Methode zieht er die Wheatston'sche Brückenmethode vor. The Electrician[2]) schreibt vor, dafs die Isolationsmessungen mit einer erheblich gröfseren als der Betriebsspannung ausgeführt werden müssen. An keiner Stelle sind jedoch Angaben darüber zu finden, in welcher Weise die Ablesungen der Ausschläge der Galvanometernadel gemacht wurden, die, wie im folgenden gezeigt wird, sehr grofsen Veränderungen unterworfen sind.

Bezüglich der Anforderung, die man in Hinsicht auf Isolation von einem Leitungsnetze verlangen soll, gehen die Ansichten ziemlich weit auseinander. Die amerikanische Marine stellt für die auf Kriegsschiffen verlegten Leitungen die Anforderung, dafs der Isolationswiderstand 1000 $\Omega$ für jedes $V$ der im Betrieb erforderlichen Spannung aufweise. Herr Prof. A. Jamieson[3]) in London verlangt für eine Glühlampe und 1 $V$ $10^5$ $\Omega$ Isolationswiderstand, also z. B. für 100 Lampen mit 100 $V$ 100 000 $\Omega$; es entspricht dies einem Gesamtverlust von 0,0016 % des Gesamtstromes. Die Société of Telegraph Engineers and Electricians hat den Maximalstromverlust auf 0,02 %[4]) des Gesamtstromes fixirt. — Herr Picou[5]) stellte genauere Versuche über Isolationswiderstände an, indem er isolierte Drähte dicht neben einander aufspannte und dieselben um ihre eigene Achse tordierte, ferner indem er die isolierten Drähte zwischen 2 Metallplatten prefste und bei verschiedenen Torsionen bezw. bei verschiedenem Druck die Isolation mafs. Er stellte die Formel auf, dafs der Isolationswiderstand $w = c \cdot \frac{E}{J}$ sein solle.

[1]) The Electrician. Vol. XXII p. 467.
[2]) Centralbl. für Elektrotechnik 1889 S. 225.
[3]) Pocket-Book of Elctrical Rules and Tables.
[4]) Rules and Regulations recommended for the prevention of fire risks from Electric Lighting. April 1888.
[5]) Electrician 1887 p. 727.

Demnach sollen also Betriebsspannung und Isolationswiderstand des Leitungsnetzes im gleichen Mafse zunehmen; der Wert $J$ dagegen soll die Gröfse der Anlage resp. der verlegten Drahtlänge repräsentieren, da anzunehmen ist, dafs mit der Stromstärke die Drahtlänge in einem bestimmten Verhältnisse steht.

Der elektrotechnische Verein in Wien setzte durch ein Komitee für den Faktor $c$ den Wert 5000 fest und gibt in seinen Sicherheitsvorschriften für elektrische Anlagen § 8 die Bestimmung, dafs der Isolationswiderstand mindestens $5000 \cdot \frac{E}{J}$ betragen solle. Die Phönix Fire Rules verlangten von einer Einzelleitung einen Isolationswiderstand von mindestens 10000 $\Omega$, Herr Dr. A. v. Waltenhofen dagegen hatte im Hofburgtheater in Wien 100 000 $\Omega$ als untere Grenze angenommen. Indem endlich bei einer Bogenlichtanlage an die Isolation eine höhere Anforderung gestellt werden kann als an eine Glühlichtanlage, so schlägt Uppenborn vor[1]), die Isolationsformel zu schreiben als

$$W = 10000 \frac{E}{J_G + 0{,}1 \cdot J_B}$$

wo $J_g$ den Strom für Glühlicht, $J_B$ den für Bogenlicht bedeutet.

Als Koeffizient $c$ für die Isolation zwischen den beiden Leitungssystemen verlangt Picou mindestens den doppelten Wert als für den der Isolation gegen die Erde. Im Centralblatt für Elektrotechnik 1888 No. 21 ist jedoch darauf aufmerksam gemacht, dafs, unter der Annahme, es würde die Ableitung lediglich durch die Erde stattfinden, der Koeffizient für Isolation zwischen den beiden Leitungssystemen 4 mal so grofs sein müfste als der für Isolation gegen die Erde, dafs ferner diese Annahme überhaupt nicht zulässig ist.

Diese kurze Zusammenstellung möge ersichtlich machen, dafs es wünschenswert scheint, in einem Laboratorium an ein und derselben Leitung eine gröfsere Reihe von Messungen vorzunehmen und die dabei auftretenden Eigentümlichkeiten zu studieren. Die Aufgabe, die ich mit nachstehenden Untersuchungen zu lösen versuchte, behandelt die Fragen:

1. in welcher Weise sollen Isolationsmessungen vorgenommen werden,
2. in welcher Weise hängt der Isolationswiderstand von der Spannung der Mefsbatterie ab,
3. besteht zwischen dem Isolationswiderstand der einzelnen Zweige gegen sich und dem der einzelnen Zweige des

[1]) Centralbl. für Elektrotechnik 1889 Nr. 4.

Leitungsnetzes gegen die Erde ein Zusammenhang oder nicht.

Vor Inangriffnahme der eigentlichen hierauf Bezug habenden Messungen sei es mir jedoch gestattet, einiges über die Theorie der Dielektrika vorauszuschicken, die hier in Betracht kommenden Meſsmethoden anzuführen und die zu den nachfolgenden Messungen getroffenen Vorbereitungen und angewandten Meſsinstrumente zu erklären.

## II. Dielektrika.

Wenn auch schon im Altertum die anziehende Kraft des geriebenen Bernsteins bekannt war, so konnte die Elektricitätslehre sich doch erst weiter entwickeln, nachdem Stephan Grey 1729 die Entdeckung machte, daſs gewisse Körper die Fortpflanzung des elektrischen Zustandes durch sich hindurch gestatten, während andere dieselbe verhindern. Für erstere führte Desaguliers die Benennung »Leiter« ein, für leztere sind verschiedene Namen und Hypothesen bezüglich ihres elektrischen Verhaltens entstanden. Nach Franklin's Auffassung vermag die elektrische Materie das Glas und Nichtleiter nicht zu durchdringen; dieselbe werde nur von der Masse des letzteren angezogen, auf seiner Oberfläche verdichtet und wie eine flüssige Substanz daselbst festgehalten [1]), Faraday nannte die Nichtleiter oder Isolatoren »Dielektrika«. Nachdem er die Entdeckung gemacht, daſs die von einer bestimmten elektromotorischen Kraft in einem Konduktor induzierte Elektricitätsmenge von der Natur des Dilektrikums abhängt, führte er den Begriff der spezifisch induktiven Kapazität eines Dilektrikums ein. Das Verhältnis der Kapazität eines Kondensators für ein bestimmtes Dielektrikum als Zwischensubstanz zur Kapazität desselben Kondensators, wenn Luft das Zwischenmedium bildet, ist die »spezifisch induktive Kapazität« des Dielektrikums oder wie nunmehr gebräuchlich die »Dielektricitätskonstante«.

Die verschiedenen Annahmen, die über Dielektrika gemacht worden sind, stimmen darin überein, daſs man in allen Fällen in den Nichtleitern zu unterscheiden hat zwischen Polarisation ihrer Teilchen, die in sehr kurzer Zeit erfolgt und bei Aufhebung der Kraft schnell wieder verschwindet, und dem allmählichen Übergang der Elektricität zwischen ihnen durch Leitung und die dadurch erfolgende andauernde Ladung.

Die elektrische Verschiebung [2]) oder Polarisation besteht in einer Bewegung der Elektricität von derselben Art, wie der Transport der Elektricität durch Leitung. Der einzige Unterschied zwischen elektrischer Verschiebung in einem Dielektrikum und elektrischer Strömung in einem Leiter besteht darin, daſs jene gegen einen Widerstand zu kämpfen hat, welcher sich mit dem Widerstande vergleichen läſst, den elastische Körper Verschiebungen ihrer Teilchen entgegensetzen, (aus diesem Analogon die Einführung des elektrischen Elasticitätskoeffizienten $= \left(\frac{\text{elektrische Kraft}}{\text{Verschiebung}}\right)$ so daſs die Elektricitäten sich sofort zurückbewegen, sowie die elektromotorische Kraft zu wirken aufgehört hat. Bei Leitern dagegen gibt die elektrische Elasticität fortdauernd nach und die Elektricität wird thatsächlich von Ort zu Ort geleitet. Maxwell bediente sich zur Versinnbildlichung der Vorgänge in einem Dielektrikum fünf gleich weiter Röhren $A$, $B$, $C$, $D$ und $P$. Die unteren Hälften der vier Röhren $A$, $B$, $C$ und $D$ sind mit Quecksilber gefüllt, die oberen enthalten wie die Röhre $P$ Wasser. Eine enge Röhre mit einem Hahne $Q$ dient zur Verbindung der unteren Teile des Röhrenpaares $AB$ und $CD$. Ein in der oberen Röhre $P$ gleitender Stempel gestattet durch seine Verschiebung, in den einzelnen Röhren Druckdifferenzen hervorzubringen. Stellt man sich unter Wasser positive, unter Quecksilber negative Elektricität vor und unter der zu beiden Seiten des Stempels herrschenden Druckdifferenz eine elektromotorische Kraft, so repräsentiert jenes Arrangement den Zustand eines Dielektrikums, das von einer elektromotorischen Kraft angegriffen ist. Kann sich der Stempel in der Röhre $P$ frei bewegen, so geht er in seine Gleichgewichtslage zurück und dem entspricht eine vollständige Entladung des Dielektrikums; dabei verschiebt sich die Flüssigkeit in der ganzen Röhrenkombination, was der elektrischen Verschiebung entspricht, welche in Dielektricis vor sich geht. Dem Ausgleichshahn $Q$ entspricht in dem Dielektrikum die Existenz eines Substanzteiles, welcher ein schwaches Leitungsvermögen besitzt, der aber nicht das ganze Dielektrikum durchzieht, also keinen leitenden Kanal bildet. Daſs eine solche Leitung in einem Dielektrikum wirklich stattfindet, ist von Gaugain [1]) direkt nachgewiesen worden. Die elektromotorische Kraft, die in einem Leiter die Elektricität in Strömung versetzt, kann demnach in einem Nichtleiter der Elektricität keine strömende Bewegung erteilen, sie verschiebt

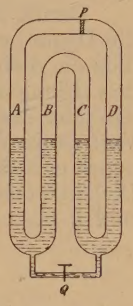

Fig. 1.

[1]) G. Wiedemann, Elektricitätslehre B. 1.

[2]) Maxwell, Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus I. S. 64.

[1]) Gaugain, Ann. de Chim. et de Phys. 2 S. 276, 1864.

nur die Elektricitäten der einzelnen Teilchen in dem Maſse, wie es ihre Stärke mit sich bringt und ruft so die dielektrische Polarisation hervor.

Massotti hat eine mathematische Theorie der Dielektrika aus der gewöhnlichen Attraktionslehre dadurch abgeleitet, daſs er in der Poisson'schen Deduktion der magnetischen Induktion aus der Theorie der magnetischen Fluida den einzelnen Symbolen statt magnetischer eine elektrische Bedeutung beilegte. Infolgedessen kam er zu der Annahme, daſs jedes Dielektrikum aus kleinen leitenden Teilchen bestehe, die durch Induktion an entgegengesetzten Enden entgegengesetzt elektrisiert werden können, die aber Elektricität weder aufnehmen noch abzugeben vermögen, weil sie von einander vollständig durch irgend ein anderes nicht leitendes Mittel getrennt sind.

Damit in Übereinstimmung befindet sich die Hypothese von Clausius[1]), der annimmt, daſs die dielektrischen Körper aus völlig leitenden Elementen bestehen, die in eine nicht leitende Masse eingebettet sind. Ist $k$ das Verhältnis der betreffenden Rauminhalte, so nennt er $k$ die »Elektrisierungszahl«. Zwischen Dielektricitätskonstante $D$ und Elektrisierungszahl $k$ besteht:

$$D = \frac{1 + 2k}{1 - k}$$

und der von Maxwell eingeführte elektrische Elasticitätskoeffizient $p$ ist bestimmt durch:

$$p = \frac{4\pi}{D}$$

Nach einer weiteren Hypothese[2]) ist in jedem Molekül der Dielektrika eine groſse Anzahl schon von vornherein elektrisch polarer Partialmoleküle enthalten, die im unelektrischen Zustande des Körpers mit ihren die Pole verbindenden elektrischen Achsen nach allen Richtungen durcheinander liegen, so, daſs sie nach keiner Richtung nach auſsen elektrisch wirken. Bei Einwirkung äuſserer Kräfte suchen sich alle Partialmoleküle in die Richtung der Resultante jener Kräfte einzustellen, so daſs sie gegen dieselbe ihre entgegengesetzt elektrischen Pole kehren. Sie werden an der völligen Einstellung durch die mechanischen Molekularkräfte gehindert und durch letztere nach Aufhebung der elektrischen Kräfte wieder in ihre unelektrische Lage zurückgedreht. Die verschiedenen Körper könnten sich dadurch unterscheiden, daſs einmal die Zahl der elektrischen Partialmoleküle in jeder Volumeinheit verschieden und die Enden ihrer Achsen mit verschiedener Elektricitätsmenge beladen sind.

[1]) Clausius, Abhandlung 2. Aufl. 2 S. 64. 1879.

[2]) Wiedemann, Elektricität II. S. 9.

Schiller[1]) hat diese Analogie durch besondere elektromagnetische Versuche konstatiert. Es zeigt sich auch, daſs durch Erschütterung während der Elektrisierung die dauernde Ladung der Dielektrika befördert wird.

Die elektrische Polarisation der Dielektrika kann demnach keine anhaltenden Verluste bei Leitungsanlagen verursachen, dieselben sind sicher Folge einer direkten Leitung und wenn auch nur wenig, so doch mit die einer Entladung mittelst Konvektion. Diese letztere Art der Entladung kann bei statischer Elektricität nach Warburg $^2/_3$ des ganzen Verlustes betragen. Man nimmt an, daſs die an einem elektrisierten Körper anliegenden Gasmoleküle sich mit ihm gleichnamig laden, fortgestoſsen werden und so andern unelektrischen Molekülen Platz machten. Es ist dieser Vorgang der langsamen Elektricitätszerstreuung in der Luft namentlich von Coulomb[2]) bei seinen Untersuchungen mit der Drehwage studiert worden. Ist »Zerstreuungskoeffizient« der Elektricitätsverlust, welchen ein mit der Elektricität 1 geladener Körper während der Zeit 1 erleidet, $q_0$ die Elektricitätsmenge in einem geladenen Körper zur Zeit $0$, $q$ dieselbe zur Zeit $t$, so ist

$$\alpha = \frac{1}{t} \log \frac{q_0}{q}$$

und der Isolationswiderstand

$$w = \frac{c}{\alpha} = \frac{c \cdot t}{\log \frac{q_0}{q}}$$

Coulomb fand die Zerstreuungskoeffizienten mit derselben Drehwage zu verschiedenen Zeiten zwischen $^1/_{22}$ und $^1/_{108}$. Ein Isolator wird dem Durchgange der Elektricität ferner nur bis zu einer bestimmten Spannung einen wesentlichen Widerstand entgegensetzen können; man bezeichnet den Maximalbetrag der elektromotorischen Kraft, die in einem Dielektrikum noch wirken kann, ohne daſs eine Entladung vor sich geht, als die »elektrische Stärke« des Dielektrikums.

Bei Isolationsmessungen macht sich häufig auch eine Verschiedenheit geltend, je nach dem Pol, mit welchem gemessen wird. Dr. O. Frölich[3]) gibt an, daſs ein völlig gutes Kabel mit Kupfer und Zink gemessen nach gleicher Dauer der Elektrisierung denselben Isolationswiderstand zeigen muſs; jede Differenz der Messungen mit Kupfer und Zink zeige das Vorhandensein eines Fehlers an und je

[1]) Pogg., Ann. 159 S. 456 u. 537. 1876.

[2]) Coulomb B. 1 § 50.

[3]) Dr. O. Frölich, Handbuch der Elektricität und des Magnetismus S. 354.

gröfser diese Differenz, desto gröfser sei der Fehler. Es zeigen diese Eigenschaft jedoch auch gute Anlagen mehr oder weniger. Auch schon bei anderen Untersuchungen ist auf diesen Unterschied aufmerksam gemacht worden. So constatierte Matteucci[1]) ein leichteres Eindringen der negativen Elektricität in die Dielektrika und insbesondere bei der Entladung der Elektricität durch unsere besten Dielektrika, die Gase, finden wir solchen Unterschied. G. Wiedemann und Rühlmann[2]) haben gefunden, dafs zur Einleitung einer Entladung in der Gasschichte an der positiven Elektrode ein gröfserer Antrieb auf die auf der Flächeneinheit aufgehäufte Elektricität erforderlich ist, als an der negativen Elektrode. Beccaria[3]) läfst aus einer mit einem Konduktor der Elektrisiermaschine verbundenen Spitze bei gleichmäfsiger Erregung der Maschine Elektricität ausströmen und es zeigte der bei der Bildung der negativen Büschel auftretende höhere, der bei der Bildung der positiven Büschel auftretende niedere Ton die schnellere Aufeinanderfolge der ersteren an. Nach Angabe von Maxwell[4]) bildet sich die Lichthülle bei Entladungen aus einer Spitze in die Luft leichter, wenn die Spitze positiv, als wenn sie negativ geladen ist. Belli[5]) verband den Konduktor mit einem Quadrantenelektrometer. Die Spannung war bei der Erzeugung eines positiven Büschels gröfser (+ 6°) als an einem negativ geladenen Konduktor (— 4,5°). Ähnliche Versuche hat Gaugain[6]) durchgeführt. Auf diese Verschiedenheit der Entladung für beide Elektricitätsarten beruht auch die Konstruktion des elektrischen Ventils. Ist in einer Entladungsröhre die eine Elektrode bedeutend gröfser als die andere, so bedarf es einer stärkeren Spannung zum Übergange einer Entladung von der kleineren positiven zur gröfseren negativen Elektrode als zum Übergang von der kleineren negativen zur gröfseren positiven Elektrode. Folgt nun eine Reihe abwechselnd gerichteter Ladungen auf einander, die eine elektrische Spannung haben, die zwischen jenen beiden Werten liegt, so können nur diejenigen Entladungen zwischen den Elektroden übergehen, für welche die kleinere als negativer Pol dient. Auch an dem Riess'schen Apparat, bei welchem Funken von einer überzogenen zu einer nicht überzogenen Kugel überzuspringen gezwungen werden, tritt diese Erscheinung auf, weshalb ihn Gaugain Ventilei oder œuf soupape nennt.

[1]) Ann. de Chim. et de Phys. [3] 27 p. 133 1849.
[2]) Pogg. Ann. 145 S. 235, 364, 1872.
[3]) Elektricismo artificiale p. 37.
[4]) Maxwell I. p. 59.
[5]) Corso di fisica 3. p. 603, 1838.
[6]) Ann. de Chim. et de Phys. 8, 1866.

v. Bezold[1]) hat gezeigt, dafs, wie in der Luft so auch auf der Oberfläche von Dielektricis meist ein gröfseres Potential zur Entladung der + Elektricität erforderlich ist als zu der, der negativen. Die Zerstreuung der positiven Elektricität ist nach Matteucci[2]) kleiner als die der negativen, nach Biot[3]) und Warburg ist der Zerstreuungskoeffizient bei positiv und negativ geladenen Körpern der gleiche.

Die Annahme, dafs Isolationswiderstände für beide Elektricitätsarten eine Verschiedenheit zeigen, ist somit nicht ausgeschlossen, sie findet im gesteigerten Mafse ein Analogon in der unipolaren Leitung der Flammen. Nach Erman ist die Flamme des Phosphors negativ unipolar, d. h. sie gestattet der negativen Elektricität freien Abflufs, bietet dem Eintritt der positiven Elektricität dagegen grofsen Widerstand dar; andere Flammen, wie die des Weingeistes, sind positiv unipolar. —

Es möge noch erwähnt werden, dafs Ergebnisse, wie sie die nachfolgenden Beobachtungen liefern, bei anderer Gelegenheit von E. du Bois-Reymond[4]) beobachtet worden sind. Er bemerkte, dafs unter Umständen in Körpern durch den Durchgang des Stromes selbst ein Widerstand entwickelt wird, den er »sekundären Widerstand« nannte. Derselbe gibt sich dahin kund, dafs bei einer Stromdurchführung z. B. durch Eiweifs die Stromstärke schnell bis zu einem Minimum abnimmt. Diese Abnahme entsteht nicht durch eine innere Polarisation des porösen Körpers, denn bei Umkehrung der Verbindungen der Säule mit den Elektroden zeigt sich keine Zunahme der Intensität, sondern zuerst eine kleine Abnahme, dann erst ein allmähliches Zunehmen bis zu einem Maximum und dann wieder ein Abnehmen bis zu demselben Minimum wie vorher. Dieser neue sekundäre Widerstand der porösen Leiter nimmt demnach zuerst bei Umkehrung der Stromesrichtung ab, dann wieder zu. Er zeigt sich[5]) bei Kreide, Bimsstein, Quarzsand, Eiweifs, Rinderblut, Leim, Seife, Kartoffeln, gesottenen Hölzern, Haut etc. —

Sehr zu berücksichtigen bei Isolationsmessungen ist die Temperatur der Dielektrika. Guttapercha nimmt bei einer Abkühlung um 5° C, Gummi bei einer solchen um 14° C schon den doppelten Widerstand an. Genauere

[1]) Sitzungsbericht der kgl. Münchener Akademie 1880.
[2]) Ann. de Chim. et de Phys. 28 S. 389, 1850.
[3]) Traité de phys. 2 p. 256, 1816.
[4]) Monatsbericht der Berliner Akademie 1860. April und Dezember.
[5]) Ausführliche Versuche hierüber: H. Munk, die kataphorischen Veränderungen der feuchten porösen Körper.

Messungen hierüber wurden an einem von der African Direct Company zwischen Accra und der Sierra Leone verlegten Kabel gemacht. Es ergab sich pro Seemeile ein Isolationswiderstand

| | | | |
|---|---|---|---|
| bei | 30° | Fahrenheit | 8085 Megohm |
| „ | 40° | „ | 4292 „ |
| „ | 50° | „ | 2308 „ |
| „ | 60° | „ | 1242 „ |
| „ | 75° | „ | 490 „ |
| „ | 85° | „ | 263 „ |

Die Veränderung des Widerstandes mit der Temperatur folgt bei verschiedenen Dielektricis, wie Gummi, Guttapercha, Harz und Ölen etc. etc. dem Gesetze

$$w_t = w_0 \cdot a^t$$

Nach Bright und Clark ist für Guttapercha

$$a = 0{,}8878.$$

Doch sind selbst mit Berücksichtigung dieses Gesetzes Temperaturschwankungen bei Isolationsmessungen schwer in Anrechnung zu bringen, da, wie Hockin gezeigt hat, Guttapercha erst einige Stunden auf der bestimmten Temperatur sich befinden mufs, ehe es den dieser Temperatur entsprechenden Widerstand aufweist.

## III. Methoden der Widerstandsbestimmung, welche bei Isolationsmessungen in Anwendung gebracht werden.

### 1. Methode des direkten Ausschlages nach Ohm.

Man schliefst den Stromkreis durch ein Galvanometer, die Stromstärke sei $J$. Wird der zu bestimmende Widerstand $x$ noch hinzugeschaltet, so sinkt die Stromstärke auf $i_0$ und, wird statt seiner ein bekannter Widerstand $R$ eingeschaltet, auf $i$, dann ist

$$x = R \cdot \frac{J - i_0}{J - i} \cdot \frac{i}{i_0}$$

Bei Isolationsmessungen können die Widerstände der Elemente, des Galvanometers und der Zuleitungsdrähte vernachlässigt werden und es wird dann

$$x = R \cdot \frac{i}{i_0}$$

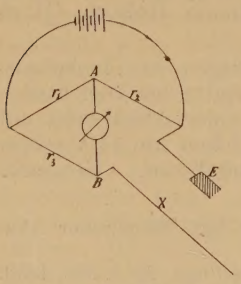

Fig. 2.

### 2. Wheatston'sche Brückenmethode. (Fig. 2.)

Die Widerstände der 4 Viereckseiten werden so lange abgeglichen, bis die Punkte $A$ und $B$ gleiches Potential erhalten. Dann ist

$$x = \frac{r_2}{r_1} \cdot r_3.$$

### 3. Methode Foussereau. (Fig. 3.)

Eine Batterie von $n$ gleichen Elementen wird durch die beiden zu vergleichenden, hinter einander geschalteten und im Punkte $C$ zusammenstofsenden Widerstände $R$ und $x$ geschlossen und der Batteriepol $P$ gesucht,

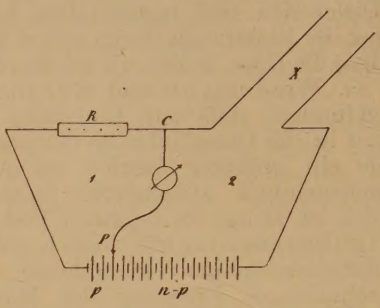

Fig. 3.

welcher mit dem Punkte $C$ gleiches Potential besitzt. Liegen dann $p$ Elemente auf der einen, $n—p$ auf der andern Seite, so ist

für den Stromkreis 1 $p\,E = i \cdot R$

» » » 2 $(n—p)\,E = i \cdot x$

und

$$x = R \cdot \frac{n—p}{p}$$

### Bestimmung mit dem Differentialgalvanometer[1]). (Fig. 4.)

Die eine Rolle mit dem Shunt $m$ enthält in ihrem Stromkreis den kleineren Widerstand $R$, die andere den grofsen Widerstand $x$.

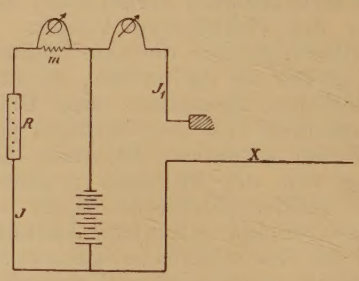

Fig. 4.

Es ist $J = \frac{E}{R}$ $\qquad i = \frac{J}{m}$

$$J_1 = \frac{E}{x}$$

$$J_1 = i \text{ oder } x = m \cdot R.$$

Reicht der Shunt $m$ nicht aus, so nimmt man 2 getrennte Stromkreise mit $n$ bezw. nur 1 Element.

Analog ist die Bestimmung mit dem Siemens-Apparat, in welchem die beiden Rollen

[1]) Maskart u. Joubert, Lehrbuch der Elektricität S. 313.

des Differentialgalvanometers einen festen Abstand von einander haben, zusammen jedoch sich selbst parallel gegen die Nadel so lange verschoben werden können, bis dieselbe auf den Nullpunkt zurückkehrt. Durch empirisches Graduieren ist das Verhältnis der Ströme oder der Gröfse der den einzelnen Stromzweigen zugehörigen Widerstände angegeben.

Ähnlich verfährt man mit dem Apparat von Jenkin, bei welchem 2 kreisförmige Rollen unter rechtem Winkel mit einander so verbunden sind, dafs sie einen gemeinschaftlichen Durchmesser haben, in dessen Mitte sich eine Nadel befindet. Beide fest mit einander verbundene Rollen werden so lange gedreht, bis die Ablenkung der Nadel = 0 ist und aus dieser Drehung (Winkel mit dem Meridian) ergibt sich das Verhältnis der Intensitäten, also auch der Widerstände beider Stromkreise

$$\frac{J}{J_1} = \operatorname{tg} \varphi.$$

Sind die zu messenden Widerstände mehrere Millionen Ohm, wie die vorzüglichen Isolationen an atlantischen Kabeln, so werden selbst bei Anwendung sehr hoch gespannter Batterien, die durch die Isolation hindurchdringenden Stromstärken so klein, dafs sie sich selbst mit den empfindlichsten Spiegelgalvanometern nunmehr schwer messen lassen. In diesem Falle mifst man die Elektricitätsmenge, welche während einer bestimmten Zeit durch die isolierende Schichte hindurchdringt.

### 5. Methode von Bright und Clarke.

Die durch die Isolation bei $M$ durchdringende Elektricität wird in dem Kondensator $C$ angesammelt und dieser nach einiger Zeit durch das Galvanometer $G$ entladen. Bei Prüfung einer Lötstelle wird der Widerstand derselben mit dem einiger Meter gesunder Kabeladern verglichen.

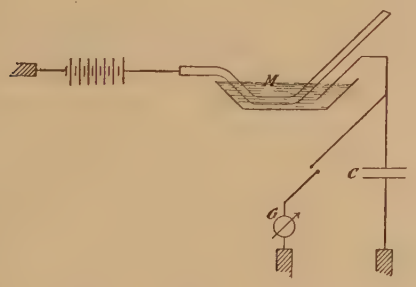


Fig. 5.

### 6. Methode von Siemens.

Man ladet einen Kondensator von bedeutender Kapazität $S$ und verbindet seine beiden Belegungen sowohl mit dem Elektrometer als mit den Enden des betr. Isolationswiderstandes $x$ und beobachtet den Elektricitätsverlust am Elektrometer im Sinken der Spannung. Ist dieselbe in der Zeit $t$ von $E_0$ auf $E$ gesunken, so ist

$$Q = S \cdot E \text{ und } E = R \cdot x.$$

Ferner ist

$$x = -\frac{dQ}{dt} \quad \text{also} \quad -Q = R \cdot S \cdot \frac{dQ}{dt}$$

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot S}} \text{ und } E = E_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot S}}$$

oder

$$x = \frac{t}{S(\log E_0 - \log E)}.$$

### 7. Brückenmethode mit Anwendung von Wechselströmen und Telephon.

Bei Isolationsmessungen an Beleuchtungsanlagen wird man wohl nie zur Methode 5 und 6 zu greifen gezwungen sein, indem die hier in Betracht kommenden Werte fast immer unter 20 Millionen Ohm bleiben werden. Die Brückenmethode ist deswegen nicht empfehlenswert, da der Isolationswiderstand keine konstante Gröfse ist, sondern sich während der Messung ändert, so dafs das Abgleichen der Widerstände sehr erschwert ist. Bei Anwendung von Wechselstrom und Telephon läfst die Einstellung auf Minimum des Tones so grofsen Spielraum, dafs die so erhaltenen Werte unzuverlässig sind. Die Methode von Foussereau empfiehlt sich deshalb nicht, weil der Punkt $P$ wegen der Veränderlichkeit von $x$ schwer aufzufinden ist, zumal da $P$ nur sprungweise geändert werden kann. Methode 4 hat den Nachteil, dafs sie grofse Widerstände $R$ mit vielfachen Abstufungen erfordert. Aus diesen Gründen ist im folgenden nur die Methode Ohm in Anwendung gekommen, die sich vor den andern dadurch auszeichnet, dafs sie die wenigsten Hilfsmittel erfordert und am besten die Veränderungen des Isolationswiderstandes verfolgen läfst.

## IV.

Als Galvanometer für die nachfolgenden Messungen diente ein Fernrohrgalvanometer

Fig. 6.

aus der physikalischen Werkstätte von Dr. M. Th. Edelmann. Dasselbe besteht aus 2 unter rechtem Winkel zusammengesetzten Messingstangen $AB$ und $CD$ mit Stellschrauben in

$A$, $B$ und $D$. Die Stange $CD$ von 48 cm Länge trägt in ihrem Ende $D$ den Dämpfer mit Glockenmagnet und Spiegel und die Multiplikatorrolle. Letztere kann, um genau in den magnetischen Meridian eingestellt werden zu können, um einen Zapfen in $E$ etwas gedreht werden. Auf $CD$ zwischen $C$ und $D$ läfst sich ein Richtmagnet verschieben und es kann dadurch die Empfindlichkeit des Instrumentes wesentlich variiert werden. Die Stange $AB$ von 18 cm Länge trägt das Fernrohr mit dem Mafsstabe.

Nachdem bei den Isolationsmessungen immer das Verhältnis der häufig sehr verschiedenen Ausschläge in Rechnung kommt, ist besondere Aufmerksamkeit auf Herstellung einer Proportionalitäts-Korrektionstabelle gelegt worden und es sei mir gestattet, in diesem Abschnitte die diesbezüglichen Methoden näher zu besprechen.

Das Prinzip dieser Methoden besteht darin, dafs man durch das Galvanometer Ströme hindurchschickt, deren Intensitäten nach dem Ohm'schen Gesetze berechnet werden, und die zugehörigen Ausschläge beobachtet. Im Kalender für Elektrotechniker 1889 findet sich darüber folgende Angabe[1]). Man schaltet das Galvanometer nebst einem Widerstandskasten in den Stromkreis eines grofsen Daniell-Elementes oder eines Accumulators und nimmt so viel Widerstand $w$ hinzu, dafs die Ablenkung $\alpha_1 = 100$ mm beträgt. $C \cdot \alpha_1 = \frac{E}{w_1}$

Die Widerstände $w$ werden sodann abgeändert in $w_2$, $w_3$ ... und die zugehörigen Werte $\alpha_2$ und $\alpha_3$ nach der Formel $\alpha_2 = \frac{w_1}{w_2} \cdot \alpha_1$ berechnet. Die Differenz der beobachteten und berechneten Werte gibt die Korrektion, die stets negativ ist. — Bei Spiegelgalvanometern wird man wegen ihrer grofsen Empfindlichkeit einen Shunt anlegen müssen, wenn man nicht sehr grofse Widerstände (10000 — 100000 $\Omega$) derart zur Verfügung hat, dafs man auch eine gröfsere Anzahl der zwischenliegenden Widerstände herausgreifen kann.

In anderer Art läfst sich dasselbe durch folgende Anordnung erreichen. Man bildet einen Hauptstromkreis aus dem Element $E$, einem beliebigen Widerstand $r$, der zur Regulierung von $J$ dient und nicht bekannt zu sein braucht, und aus einem Widerstandssatz $AB$ mit den Widerständen $w$. Von den Endpunkten dieser Widerstände $w$ zweigt man der Reihe nach mittels Abzweigklemmen zum Galvanometer ab. Letzterem schaltet man einen Widerstand $W$ vor, so dafs $W + G$ mindestens 1000 mal so grofs ist als der gröfste Widerstand $w$, der also nur grofs, jedoch nicht genau bekannt zu sein braucht. Die im Galvanometer beobachteten Ausschläge müssen dann proportional sein zu den Widerständen $w$. Der Widerstandssatz $AB$, der also allein bekannte Gröfsen enthalten mufs, soll deshalb für diesen Versuch genau kalibriert werden.

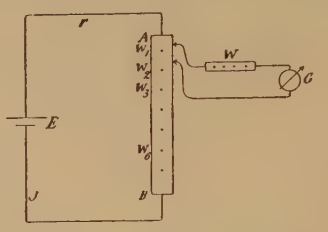


Fig. 7.

Behufs Kalibrierung eines Stöpselrheostaten gibt Kohlrausch[1]) die Angabe:

Man vergleiche die Stücke bez. Summen von gleichem Nennwerte. Ergibt die Beobachtung

$$\begin{aligned} 5' &= 2' + 2'' + 1' + \alpha \\ 2'' &= 2' + \beta \\ 2' &= 1' + 1'' + \gamma \\ 1' &= 1'' + \delta \end{aligned}$$

und ist $5' + 2' + 2'' + 1' = 10 + \varrho$, so wird die Korrektionstabelle:

$$\begin{aligned} 5' &= 5 - 5\sigma + \alpha + \beta + 2\gamma + 3\delta \\ 2'' &= 2 - 2\sigma + \beta + \gamma + \delta \\ 2' &= 2 - 2\sigma + \gamma + \delta \\ 1' &= 1 - \sigma + \delta \\ 1'' &= 1 - \sigma \end{aligned}$$

wenn

$$\sigma = \frac{\alpha + 2\beta + 4\gamma + 6\delta - \varrho}{10}$$

bedeutet.

Es ist dies eine direkte Übertragung der Methode, für einen Gewichtssatz die Korrektionstabelle aufzustellen; für elektrische Messung ist sie nicht geeignet, den alle unsere Mefsmethoden geben das Verhältnis der Widerstände mit Ausnahme der Widerstandsbestimmung mit dem Differentialgalvanometer; doch auch hier möchte es schwer sein, diese kleinen Ergänzungswiderstände $\alpha, \beta \cdots \delta, \varrho$ genau ihrem Werte nach zu ermitteln.

Den elektrischen Mefsmethoden angepafst, dürfte die Kalibrierung in folgender Weise vorzunehmen sein:

Es sei zu kalibrieren ein Satz mit den Widerständen 1', 1'', 2', 3' und 4':

Man greift zunächst nur die Widerstände heraus, von welchen jeder vorhergehende gleich der Summe der nachfolgenden ist

[1]) Kalender für Elektrotechniker von Uppenborn 1889 S. 105.

[1]) Dr. F. Kohlrausch, praktische Physik S. 239.

(z. B. 16. 8. 4. 2. 1. 1.) und erst in zweiter Linie werden alle zwischenliegenden geraden und ungeraden Widerstände verglichen. Bei Anwendung der Wheatstone'schen Brückenmethode oder der hier in Sonderheit sehr empfehlenswerten Methode von Matthiessen und Hockin ergeben sich dann folgende Gleichungen:

$$4' = (2' + 1' + 1'') \cdot a$$
$$2' = (1' + 1'') \cdot b$$
$$1' = 1'' \cdot c$$
$$4' + 2' + 1' + 1'' = \varrho \cdot n = s$$

woraus folgt:

$$4' = s \cdot \frac{a}{a+1}$$
$$2' = s \cdot \frac{b}{(a+1)\cdot(b+1)}$$
$$1' = s \cdot \frac{c}{(a+1)\cdot(b+1)\cdot(c+1)}$$
$$1'' = s \cdot \frac{1}{(a+1)\ (b+1)\ (c+1)}$$

An einem nach dieser Art kalibrierten Rheostaten mit den Widerständen 4. 3. 2. 1. 0,4 0,3 0,2 0,1 ergaben sich die Werte:

| | |
|---|---|
| $1'' = 1{,}0104\ \Omega$ | $0{,}1' = 0{,}1026\ \Omega$ |
| $1' = 1{,}0031$ » | $0{,}2' = 0{,}2011$ » |
| $2' = 2{,}0064$ » | $0{,}3' = 0{,}3031$ » |
| $4' = 4{,}0146$ » | $0{,}4' = 0{,}4036$ » |
| $3' = 2{,}9992$ » | |

Dieser Widerstandssatz lieferte die $w$ bei Aufstellung der Korrektionstabelle für das Fernrohrgalvanometer. Der vorgeschaltete Widerstand $W$ war circa 22000 $\Omega$, so dafs die Beeinflussung der Spannung an den Endpunkten der Widerstände $w$ durch Anlegen des Galvanometerzweiges weit aufserhalb der Beobachtungsfehler liegt. Die sich ergeben habenden Korrektionen sind aus beistehender Tabelle zu ersehen, wobei die Skala eben war:

| mm Ausschlag berechnet | mm Ausschlag beobachtet | Korrektion in mm |
|---|---|---|
| 19,9 | 19,9 | — 0,0 |
| 39,0 | 39,0 | — 0,0 |
| 58,81 | 59,23 | — 0,4 |
| 78,31 | 79,58 | — 1,27 |
| 97,81 | 99,88 | — 2,07 |
| 117,7 | 121,0 | — 3,4 |

Wegen dieser grofsen Korrektionen und des doch verhältnismäfsig nur geringen Mefsbereiches zog ich es vor, die ebene Skala durch eine Kreisskala zu ersetzen. Die richtige Centrierung derselben prüfte ich zunächst nur auf rein optischem Wege in folgender Weise. An die Punkte $A$ und $B$ befestigte ich zwei Pendel und stellte ein Hilfsfernrohr $F_1$ so ein, dafs in seinem Fadenkreuz das Pendel bei $A$ und nach Verschiebung des Okulars das Spiegelbild $B_1$ des Pendels bei $B$ erschien.

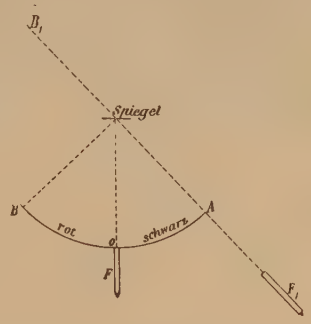


Fig. 8.

Wurde nun der Spiegel mit Hilfe eines Magneten abgelenkt, so dafs im Beobachtungsfernrohr $F$ $a$ erscheint, so mufs im Hilfsfernrohr $F_1$ $b$ gespiegelt erscheinen;

ist $a = 10\ s$, so muss $b = 0$
$5\ s$ $= 5\ r$
$14\ s$ $= 4\ s$ etc. etc. sein.

Die Centrierung wurde in dieser Weise geprüft und geändert, bis die Beobachtung die gewünschten Werte lieferte. Die Teilung der Kreisskala war in Doppelgraden durchgeführt.

Die Korrektionstabelle dieser Kreisskala ergab sich wie folgt:

| Grad-Ausschlag berechnet | Grad-Ausschlag beobachtet | Korrektion in Graden | |
|---|---|---|---|
| 19,45 | 19,45 | + 0,0 | |
| 38,12 | 38,0 | + 0,1 | |
| 57,5 | 57,2 | + 0,3 | |
| 76,53 | 76,1 | + 0,43 | |
| 95,59 | 94,75 | + 0,89 | |
| 115,04 | 113,75 | + 2,2 | + 1,34 |
| 134,0 | 131,85 | + 1,34 | + 2,20 |

Während bei der ebenen Skala die berechneten Werte kleiner als die beobachteten, die Korrektionen also negativ sind, ergibt sich bei der Kreisskala das Entgegengesetzte. Die Korrektionen konnten somit nicht vermieden werden, doch war der Mefsbereich von 8 auf 14° erhoben. Dafs die Korrektionen positiv ausfallen, ist einer zurückbleibenden Einwirkung der Multiplikatorrolle bei Drehung des Magnets zuzuschreiben.

Berechnet man die Korrektionen, wie sie sich zufolge der nicht vorhandenen Proportionalität wegen des Tangentengesetzes für die ebene Skale ergeben, so erhält man gröfsere Werte als die direkt beobachteten. Die Differenz von beiden gibt die Korrektionen für die Kreisskala.

Die Anordnung der Versuche ist aus folgenden schematischen Zeichnungen ersichtlich.

1. Prüfung der Isolation einer Leitung gegen die Erde (Fig. 9).

Die Batteriepole führten zunächst zum Kommutator $K$; das Galvanometer $G$ konnte durch eine einfache Umschaltvorrichtung entweder vor die zu prüfende Leitung $L$ oder nach derselben vor Eintritt des Stromes in den Vergleichswiderstand $W$ eingeschaltet

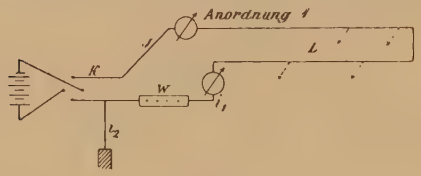


Fig. 9.

werden. In der Leitung $L$ wird wegen ungenügender Isolation ein Stromverlust $i_2$ eintreten, der gemessen ist durch $J—i_1$, während die Gröfse $i_1$ die Spannung der angelegten Batterie mifst. Die benutzte Umschaltvorrichtung bestand aus zwei vorzüglich isolierenden Wippen mit je sechs Quecksilbernäpfchen uud es war noch die Anordnung getroffen, dafs an Stelle des Galvanometers bei der Vertauschung ein demselben gleicher Widerstand eingesetzt wurde. Dem Galvanometer war noch ein Kommutator beigegeben und durch einen Schlüssel konnte ihm ein Shunt angelegt werden. Waren beide Wippen nach links hin umgelegt, so ergab die Ablesung

$$J = C \cdot \alpha.$$

Waren beide Wippen nach rechts umgelegt, so wurde abgelesen

$$i_1 = C \cdot \alpha_1$$

Daraus folgt

$$x = \frac{\alpha_1}{\alpha - \alpha_1} \cdot W$$

In den meisten Fällen ist es vorteilhafter, das $i_2$ oder die zur Erde abströmende Elektricität direkt zu beobachten (Fig. 10).

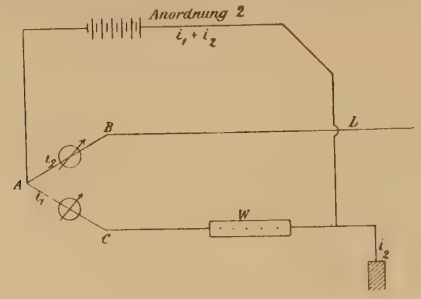


Fig. 10.

Die Wippe läfst das Galvanometer $G$ bald in den Zweig $A\,B$, bald in den Zweig $A\,C$ einschalten, während beide Zweige an Batterie angelegt bleiben.

Sind beide Wippen nach links umgelegt, so beobachtet man $i_2$, sind beide nach rechts umgelegt, $i_1$. In diesem Falle ist

$$x = W \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

Für die Isolation einer Leitung gegen sich selbst war wie folgt geschaltet (Fig. 11 und 12):

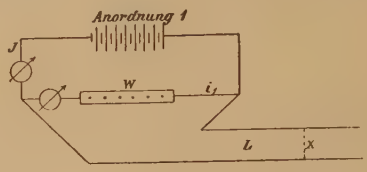


Fig. 11.

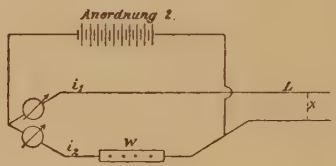


Fig. 12.

$$x = W \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha - \alpha_1}$$

$$x = W \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

## V.

Es läfst sich erwarten, dafs die Erscheinungen an dem Leitungsnetze einer elektrischen Beleuchtungsanlage mit denen an einem Kabel für überseeische Telegraphie Ähnlichkeit haben werden. Frölich[1]) gibt darüber an: Wenn man ein Ende des Kabels isoliert und an das andere Ende eine Batterie anlegt, so erleidet das Kabel zunächst eine Ladung; die Stromstärke $i$ sinkt jedoch rasch auf einen bestimmten Wert zurück und nimmt nun verhältnismäfsig langsam mit der Zeit ab, bis endlich eine konstante Ablenkung eintritt. Der erste Stromimpuls ist der Ladungsstrom, der letztere der Isolationsstrom. Der Isolationswiderstand des Kabels nimmt also unter Einflufs des Stromes mit der Zeit zu, bis er einen konstanten Wert erreicht. Die elektrische Gegenkraft des Isolationsstromes entsteht durch die Elektrisierung der inneren Teile der Kabelhülle. Ist das Kabel durchbohrt, also das Kupfer in direktem Kontakt mit Wasser, so ist stets die mit Zink gemessene Isolation gröfser, solange aber noch ein Stück Isolator zwischen Wasser und Kupfer liegt, kommt es ebenso oft vor, dafs

[1]) Dr. O. Frölich, Handbuch der Elektricität S. 347.

die mit Kupfer gemessene Isolation gröfser ist. Wenn man das Kabel, nachdem der Isolationsstrom sein Minimum erreicht hat, von der Batterie wegnimmt und an Erde legt, so erfolgt zunächst die Entladung. Die Nadel schlägt wieder plötzlich und heftig aus aber nach der entgegengesetzten Seite, dann kehrt sie wieder in eine Ablenkung zurück, welche sich langsam mit der Zeit verändert, bis schliefslich jeder Strom $i_1$ aufhört.

Die Zeit, welche das Kabel braucht, um alle Elektricität abzugeben, ist ungefähr eben so grofs als diejenige, die es zur Aufnahme derselben nötig hatte. Die Zunahme des Isolationswiderstandes zeigt sich deutlicher bei niedriger als bei hoher Temperatur; so fiel[1]) bei einem Kabel bei 0° C die Ablenkung von 240 auf 75 und bei demselben Kabel bei 28° C von 240 auf 173 in je 90 Minuten. Wegen dieser unregelmäfsigen Änderung des Isolationswiderstandes von Kabelhüllen werden selbst bei genauer Einhaltung gewisser Vorschriften die Resultate verschiedener Messungen nur bis zu einem gewissen Grade vergleichbar sein. Als solche Vorschrift findet sich in Kempes Handbuch der Elekricitätsmessungen S. 280: Das Kabel prüft man auf Isolation, indem man ½ Stunde lang zuerst den Zinkstrom, dann den Kupferstrom einführt und nach jeder Minute die Ablenkung beobachtet. In Zetzsche's[2]) Handbuch der elektrischen Telegraphie heifst es: Man beobachte fortwährend die Veränderungen der Ablenkungen und notiere deren Werte am Ende der ersten und zweiten Minute. Sehr häufig legt man der Berechnung die Ablenkung nach der ersten Minute zu Grunde.

Ich habe nun, um diese Vorschriften für Isolationsmessungen an elektrischen Beleuchtungsanlagen zu prüfen, eine Reihe andauernder Versuche an solchen Leitungen gemacht, wozu ich vorzügliche Gelegenheit fand in dem elektrotechnischen Laboratorium der k. technischen Hochschule zu München. Vom Maschinenhaus, das von den Räumlichkeiten für die Messungen durch einen kleinen Hof getrennt ist, gehen fünf Doppelleitungsstränge blanken Kupferdrahts zunächst auf den Dachboden des Hauses und verteilen sich von hier aus umsponnen und isoliert in die einzelnen Laboratoriumsräume.

Aufserdem ist Parterre und im ersten Stock je ein Doppelleitungsstrang gut isolierten Kupferdrahts vorhanden, welcher sich nur in die einzelnen Zimmer verteilt, einer Glühlichtanlage entsprechend, und durch einen Doppelmesserumschalter an eine der Leitungen vom Maschinenhaus oder vom Keller angeschlossen werden kann (Leitungsnetz I mit circa 256 m Kupferdraht).

Die nun folgenden Beobachtungsreihen sind sämtlich mit Elementen gemacht worden, die einzelnen geprüften Leitungen durch römische Ziffern unterschieden. Während die Leitung ständig an dem Pol der Batterie angelegt blieb, wurde der Vergleichswiderstand $W$ zur Bestimmung der Batteriespannung nur zu den Ablesezeiten angelegt, um die Batterie nicht überflüssig anzustrengen. Nachfolgende Tabellen geben die beobachteten Ausschläge der Galvanometernadel nach der in IV bestimmten Korrektionstabelle korrigiert, sowie die daraus berechneten Werte der Isolations-Widerstände (Tab. 1—22).

[1]) Kempe, Handbuch der Elektricitätsmessungen S. 196.

[2]) Zetzsche, Handbuch der elektrischen Telegraphie 3. B. 3. Lieferung S. 308.

| Beobachtungszeit | durch $L$ $\alpha$ | durch 100000 $\Omega$ $\alpha_1$ | Isolationswiderstand in Megohm | Nr. der untersuchten Leitung | Spannung der Batterie in Volt | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| vormittags: 11h 0m | 159 | 484 | 304 | III | 50 | Isolation gegen die Erde Anordnung 2 Zinkpol an Erde gelegt Leitung III führt in das Maschinenhaus und enthält ca. 114 m Kupferdraht | 1 |
| 5 | 178 | | 272 | | | | |
| 15 | 163 | | 297 | | | | |
| 25 | 148 | | 327 | | | | |
| 30 | 138 | | 351 | | | | |
| 40 | 127 | | 380 | | | | |
| 12 0 | 108 | | 446 | | | | |
| nachmitt.: 2 0 | 41 | | 1178 | | | | |
| 15 | 39,3 | | 1230 | | | | |
| 5 50 | 52,8 | | 915 | | | | |
| 6 20 | 50 | | 967 | | | | |

| Beobachtungszeit | durch $L$ $\alpha$ | durch 100000 $\Omega$ $\alpha_1$ | Isolationswiderstand in Megohm | Nr. der untersuchten Leitung | Spannung der Batterie in Volt | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| abends: 6h 28m | 60 | 484 | 805 | III | 50 | Isolation gegen die Erde | |
| 29 | 63 | | 770 | | | | |
| 30 | 65 | | 745 | | | Anordnung 2. | |
| 33 | 67,8 | | 731 | | | Kohlenpol an | |
| 38 | 70,8 | | 684 | | | Erde gelegt | 2 |
| 45 | 81 | | 597 | | | | |
| 55 | 84,5 | | 572 | | | | |
| 7 5 | 86,5 | | 553 | | | | |
| 15 | 88 | | 544 | | | | |
| 25 | 89,2 | | 536 | | | | |
| 30 | 90,5 | | 528 | | | | |
| vormittags: 10h 10m | 127 | 484 | 381 | III | 50 | Isolation gegen | |
| 11 | 124 | | 390 | | | die Erde | |
| 12 | 126 | | 384 | | | Anordnung 2 | |
| 15 | 129 | | 374 | | | Kohlenpol an | |
| 19 | 130 | | 371 | | | Erde gelegt | |
| 25 | 142 | | 341 | | | | |
| 30 | 147 | | 328 | | | Witterung trüb | |
| 35 | 152 | | 318 | | | | |
| 40 | 143 | | 338 | | | | |
| 45 | 131 | | 369 | | | | |
| 50 | 125 | | 386 | | | | |
| 55 | 110—113 | | 440—427 | | | Sturm mit | 3 |
| 11 2 | 110—115 | | 440—420 | | | Regen | |
| 4 | 120 | | 403 | | | | |
| 6 | 124 | | 390 | | | | |
| 7 | 95—98 | | 508—493 | | | | |
| 9 | 82—96 | | 590—503 | | | | |
| 13 | 91—96 | | 531—503 | | | | |
| 22 | 84—93 | | 575—520 | | | | |
| 30 | 90—101 | | 537—478 | | | | |
| 50 | 97—106 | | 497—455 | | | | |
| 12 0 | 76—81 | | 636—597 | | | | |
| vormittags: 10h 0m | 5,3 | 417 | 7860 | I l. | 50 | Isolation gegen | |
| 15 | 5,1 | | 8160 | Leitungszweig links des Netzes I. ca. 128 m Kupferdraht | | die Erde | |
| 30 | 5,1 | | 8160 | | | Anordnung 2 | 4 |
| 45 | 5,05 | | 8240 | | | Zinkpol an | |
| 11 0 | 5,05 | | 8240 | | | Erde gelegt | |
| 11 7 | 6,1 | 417 | 6820 | I l. | 50 | Anschlufs an | |
| 12 | 6,2 | | 6710 | | | Tabelle 4 | |
| 30 | 6,25 | | 6660 | | | | |
| 45 | 6,2 | | 6710 | | | Kohlenpol | 5 |
| 12 0 | 6,1 | | 6820 | | | zur Erde | |
| 1 45 | 5,4 | | 7710 | | | | |
| nachmitt.: 3h 0m | 125,2 | 114,2 | 1029 | I p. | 6 | Isolation gegen | |
| 5 | 124,9 | | 1048 | Leitungsnetz I part. mit circa 256 m Kupferdraht | | die Erde | |
| 10 | 124,7 | | 1067 | | | Anordnung 1 | |
| 15 | 124,5 | | 1088 | | | Kohlenpol | 6 |
| 20 | 124,3 | | 1108 | | | zur Erde | |
| 25 | 124,1 | | 1109 | | | | |
| vormittags: 8h 40m | 12,2 | 769 | 6300 | I l. | 50 | Isolation gegen | |
| 43 | 12,4 | | 6180 | | | die Erde | |
| 45 | 12,5 | | 6140 | | | Anordnung 2 | |
| 50 | 12,55 | | 6120 | | | Zinkpol | |
| 53 | 12,5 | | 6140 | | | zur Erde | 7 |
| 9 30 | 12,0 | | 6390 | | | | |
| 48 | 11,7 | | 6560 | | | | |
| 55 | 11,5 | | 6680 | | | | |
| 10 8 | 11,3 | | 6800 | | | | |

| Beobachtungszeit | durch $L$ $\alpha$ | durch 100000 $\Omega$ $\alpha_1$ | Isolationswiderstand in Megohm | Nr. der untersuchten Leitung | Spannung der Batterie in Volt | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| nachmitt.: 2h 15m | 12,7 | 769 | 6050 | I l. | 50 | Isolation gegen die Erde Anordnung 2 Kohlenpol zur Erde | |
| 20 | 12,2 | | 6290 | | | | |
| 25 | 11,5 | | 6680 | | | | |
| 30 | 11,2 | | 6850 | | | | 8 |
| 35 | 11,0 | | 6980 | | | | |
| 40 | 10,9 | | 7060 | | | | |
| 45 | 10,85 | | 7090 | | | | |
| nachmitt.: 2h 20m | 11 | 484 | 4400 | I 1 Leitungsnetz I im 1. Stock mit circa 256 m Kupferdraht | 50 | Isolation gegen die Erde Anordnung 2 Kohlenpol zur Erde | |
| 25 | 11,7 | | 4140 | | | | |
| 30 | 11,9 | | 4070 | | | | |
| 35 | 11,9 | | 4070 | | | | |
| 40 | 11,9 | | 4070 | | | | |
| 45 | 11,85 | | 4080 | | | | |
| 50 | 11,80 | | 4100 | | | | |
| 55 | 11,7 | | 4140 | | | | |
| 3 0 | 11,65 | | 4150 | | | | 9 |
| 5 | 11,65 | | 4150 | | | | |
| 15 | 11,65 | | 4150 | | | | |
| 30 | 11,65 | | 4150 | | | | |
| 45 | 11,60 | | 4170 | | | | |
| 4 0 | 11,5 | | 4210 | | | | |
| 15 | 11,4 | | 4250 | | | | |
| 30 | 11,3 | | 4280 | | | | |
| 45 | 11,2 | | 4320 | | | | |
| 5h 16m | 14 | 483 | 3450 | I 1 | 50 | im Anschluss an vorige Messung Zinkpol zur Erde | |
| 20 | 14,7 | | 3280 | | | | |
| 25 | 14,8 | | 3260 | | | | |
| 30 | 14,8 | | 3260 | | | | |
| 35 | 14,7 | | 3280 | | | | |
| 40 | 14,55 | | 3320 | | | | |
| 45 | 14,45 | | 3340 | | | | 10 |
| 55 | 14,1 | | 3420 | | | | |
| 6 0 | 13,9 | | 3475 | | | | |
| 15 | 13,3 | 482 | 3620 | | | | |
| 35 | 12,8 | | 3760 | | | | |
| 50 | 12,5 | | 3850 | | | | |
| 7 0 | 12,45 | | 3870 | | | | |
| vormittags: 9h 7m | 8,7 | 436 | 5020 | I 1 | 50 | Isolation gegen die Erde Anordnung 2 Kohlenpol zur Erde | |
| 10 | 8,7 | | 5020 | | | | |
| 15 | 8,7 | | 5020 | | | | |
| 20 | 8,6 | | 5070 | | | | |
| 30 | 8,35 | | 5230 | | | | |
| 45 | 8,1 | | 5380 | | | | |
| 10 0 | 7,9 | | 5520 | | | | |
| 15 | 7,8 | | 5580 | | | | |
| 30 | 7,8 | | 5580 | | | | |
| 45 | 7,75 | | 5610 | | | | |
| 11 45 | 7,5 | | 5810 | | | | |
| 12 0 | 7,5 | | 5810 | | | | 11 |
| nachmitt. 1 7 | 7,25 | 435,5 | 6010 | | | | |
| 30 | 7,20 | | 6050 | | | | |
| 45 | 7,15 | | 6100 | | | | |
| 2 0 | 7,1 | | 6140 | | | | |
| 30 | 7,0 | | 6220 | | | | |
| 3 0 | 6,9 | | 6300 | | | | |
| 15 | 6,9 | | 6300 | | | | |
| 30 | 6,85 | | 6350 | | | | |
| 45 | 6,8 | | 6400 | | | | |
| 4 0 | 6,75 | | 6450 | | | | |
| 15 | 6,75 | | 6450 | | | | |

| Beobachtungszeit | durch $L$ $\alpha$ | durch 100000 $\Omega$ $\alpha_1$ | Isolationswiderstand in Megohm | Nr. der untersuchten Leitung | Spannung der Batterie in Volt | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| nachmitt.: 30 | 6,75 | | 6450 | | | | zu 11 |
| 45 | 6,80 | | 6400 | | | | |
| 5 0 | 6,85 | | 6350 | | | | |
| 5h 2m | 9,0 | 435,5 | 4840 | I 1 | 50 | im Anschluſs an Tabelle 11 | |
| 3 | 9,5 | | 4580 | | | | |
| 4 | 9,8 | | 4440 | | | Isolation gegen die Erde | |
| 5 | 9,9 | | 4390 | | | | |
| 7 | 10,1 | 435 | 4300 | | | | |
| 10 | 10,3 | | 4220 | | | | |
| 15 | 10,5 | | 4140 | | | Zinkpol zur Erde | 12 |
| 35 | 11,1 | | 3920 | | | | |
| 45 | 11,1 | | 3920 | | | | |
| 6 0 | 11,15 | 434 | 3770 | | | | |
| 18 | 11,1 | | 3910 | | | | |
| 30 | 10,8 | | 4020 | | | | |
| 45 | 10,5 | | 4130 | | | | |
| 7 0 | 10,25 | 433 | 4230 | | | | |
| vormittags: 8h 45m | 10,2 | 549 | 5371 | I | 50 | Isolation gegen die Erde Anordnung 2 | |
| 50 | 9,9 | 548 | 5530 | | | | |
| 55 | 9,7 | | 5640 | | | | |
| 9 0 | 9,55 | | 5730 | | | | |
| 5 | 9,3 | | 5880 | | | Zinkpol zur Erde | 13 |
| 10 | 9,2 | | 5950 | | | | |
| 15 | 9,05 | | 6050 | | | | |
| 30 | 8,8 | | 6220 | | | | |
| 10 15 | 8,25 | | 6640 | | | | |
| 30 | 8,2 | | 6670 | | | | |
| 10h 35m | 11,2 | 548 | 4880 | I | 50 | im Anschluſs an Tabelle 13 | |
| 40 | 11,3 | | 4850 | | | | |
| 45 | 11,4 | | 4800 | | | | |
| 50 | 11,3 | | 4850 | | | Kohlenpol zur Erde | |
| 11 0 | 11,3 | 547,5 | 4850 | | | | 14 |
| 15 | 11,1 | | 4940 | | | | |
| 30 | 10,8 | | 5060 | | | | |
| 12 0 | 10,2 | | 5370 | | | | |
| nachmitt.: 1 55 | 8,75 | | 6250 | | | | |
| 2 12 | 8,3 | | 6600 | | | | |
| 2h 12m | 11,1 | 547,5 | 4920 | I | 50 | im Anschluſs an Tabelle 14 | |
| 15 | 11,8 | | 4640 | | | | |
| 20 | 11,8 | | 4640 | | | | |
| 25 | 11,7 | | 4680 | | | | |
| 30 | 11,5 | | 4750 | | | Zinkpol zur Erde | 15 |
| 45 | 11,3 | | 4840 | | | | |
| 3 40 | 10,3 | | 5310 | | | | |
| 4 30 | 9,15 | | 5970 | | | | |
| 4 40 | 9,0 | | 6080 | | | | |
| Isolationsmessung an einer Leitung durch feuchte Räume (Kellerleitung mit ca. 100 m Kupferdraht) die Ausschläge der Galvanometernadel von 2 zu 2 Minuten beobachtet zu: | | | | | | | 16 |
| I. Kohlenpol zur Erde 450 | 452 | 456 | 459 | 460 | 463 | | |
| II. Zinkpol zur Erde 402 | 356 | 325 | 280 | 252 | 240 | | |
| III. Kohlenpol zur Erde 485 | 472 | 465 | 466 | — | 470 | | |
| | | durch 200000 $\Omega$ $\alpha_1$ | | | | | |
| nachmitt.: 2h 40m | 40 | 295 | 1475 | I p. | 40 | Isolation der einzelnen Zweige gegen sich (Anordnung 2) | 17 |
| 3 0 | 35 | | 1685 | | | | |
| 10 | 28,2 | | 2084 | | | | |
| 20 | 27,7 | | 2130 | | | | |

| Beobachtungszeit | | durch $L$ $\alpha$ | durch 200000 $\Omega$ $\alpha_1$ | Isolationswiderstand in Megohm | Nr. der untersuchten Leitung | Spannung der Batterie in Volt | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| nachmitt.: | 2h 50m | 8,5 | 72,8 | 1711 | I p. | 10 | Isolation der | |
| | 3 5 | 7,6 | | 1916 | | | einzelnen Zweige | |
| | 30 | 6,8 | | 2144 | | | gegen sich | |
| | 4 0 | 6,4 | | 2275 | | | | |
| | 30 | 5,8 | | 2510 | | | (Anordnung 2) | 18 |
| | 5 0 | 5,5 | | 2644 | | | | |
| | 30 | 5,3 | | 2746 | | | | |
| | 6 0 | 5,3 | 72,8 | 2746 | | | | |
| morgens: | 8 30 | 4,0 | 72,5 | 3625 | | | | |
| nachmitt.: | 3h 40m | 82 | 78,4 | 2178 | I p. | 50 | Isolation der | |
| | 45 | 81,7 | | 2376 | | | einzelnen Zweige | |
| | 50 | 81,5 | | 2529 | | | gegen sich | |
| | 55 | 81,3 | | 2704 | | | Anordnung 1 | |
| | 4 0 | 81,2 | | 2800 | | | $W = 100000\ \Omega$ | |
| | 5 | 81,1 | | 2904 | | | | |
| | 15 | 81,0 | | 3015 | | | | 19 |
| | 25 | 80,9 | | 3136 | | | | |
| | 45 | 80,8 | 78,4 | 3267 | | | | |
| | 5 0 | 80,8 | | 3267 | | | | |
| | 15 | 80,7 | 78,35 | 3340 | | | | |
| | 30 | 80,7 | | 3340 | | | | |
| | 45 | 80,6 | 78,3 | 3410 | | | | |
| | 6 0 | 80,6 | | 3410 | | | | |
| nachmitt.: | 3h 0m | 82,2 | 78,5 | 2067 | I 1 | 50 | wie in 19 doch | |
| | 15 | 81,3 | 78,3 | 2610 | | | 1 Tag später | |
| | 20 | 81,2 | | 2700 | | | | 20 |
| | 25 | 81,15 | | 2747 | | | | |
| | 30 | 81,15 | | 2747 | | | | |
| | 35 | 81,1 | | 2795 | | | | |
| vormittags: | 9h 45m | 80 | 663 | 1653 | I 1 | 50 | Isolation der | |
| | 50 | 83,5 | | 1584 | | | einzelnen Zweige | |
| | 55 | 82,7 | | 1599 | | | gegen sich | |
| | 10 0 | 80,7 | | 1638 | | | Anordnung 2 | |
| | 11 0 | 59,7 | 662 | 2212 | | | | |
| | 12 0 | 56,0 | 658 | 2342 | | | | |
| nachmitt.: | 1 53 | 52,2 | 656 | 2505 | | | | 21 |
| | 2 30 | 50,0 | 655 | 2613 | | | | |
| | 3 0 | 49,8 | | 2623 | | | | |
| | 3 30 | 49,3 | | 2649 | | | | |
| | 4 0 | 49,0 | | 2667 | | | | |
| | 30 | 48,9 | | 2672 | | | | |
| | 5 0 | 48,3 | 653 | 2698 | | | | |
| vormittags: | 9h 20m | 37,7 | 660 | 3500 | I 1 | 50 | Die Pole der | |
| | 22 | 44 | | 2990 | | | Batterie waren | |
| | 23 | 53,5 | | 2460 | | | von Versuch 21 | |
| | 25 | 59 | | 2230 | | | her über Nacht | |
| | 27 | 61,5 | | 2140 | | | angelegt geblie- | |
| | 30 | 65,5 | | 2010 | | | ben und um | |
| | 35 | 70 | | 1880 | | | 9h 20m die Able- | |
| | 40 | 74,2 | | 1775 | | | sung gemacht. | |
| | 50 | 80 | | 1645 | | | Zu dieser Zeit | |
| | 10 40 | 88 | | 1495 | | | wurden dann die | 22 |
| | 11 30 | 93,4 | | 1410 | | | Batteriepole | |
| | 12 0 | 94 | | 1400 | | | kommutiert | |
| nachmitt.: | 1 45 | 95,7 | | 1376 | | | | |
| | 3 15 | 96 | | 1370 | | | Anordnung 2 | |
| | 4 0 | 95,7 | | 1376 | | | | |
| | 5 0 | 94 | | 1400 | | | | |
| morgens: | 8 0 | 54,5 | | 2420 | | | | |

Die in Tabelle 22 behandelte, andauernd geladene Leitung wurde durch das Galvanometer entladen und die in Tabelle 22a gegebenen Ausschläge $\alpha$ beobachtet. Der Ausschlag wurde nur um 0,1 mm beeinflufst, wenn man in den Entladungsstromkreis noch 200 000 $\Omega$ einschaltete.

| Beobachtungszeit | $\alpha$ | Nr. der Tab. |
|---|---|---|
| $8^h\ 10^m$ | 1,5 | |
| 43 | 1,3 | |
| 9 5 | 1,0 | 22a |
| 20 | 1,0 | |
| 11 40 | 0,9 | |
| 2 15 | 0,8 | |
| $4^h\ 55^m$ | 23,8 | |
| 5 2 | 22,9 | |
| 15 | 22,8 | |
| 30 | 22,8 | 23 |
| 6 15 | 22,6 | |
| 30 | 22,6 | |

Leitungen, welche durch feuchte Räume führen, besitzen oft, ohne dafs sie vorher geladen werden elektromotorische Kräfte.

Wird eine solche Leitung durch das Galvanometer nnd den Widerstand $w$ an Erde

Fig. 13.

gelegt, so schlägt das Galvanometer so aus, dafs die Leitung den positiven Pol vertritt. Die Ausschläge wurden an einer Leitung, die in den Keller führte, wie in Tabelle 23 angegeben, beobachtet.

Durch Veränderung des Widerstandes $w$ lassen sich mit Hilfe dieser Ausschläge, der Isolationswiderstand und die elektromotorische Kraft der Leitung bestimmen.

$$i_1 = \frac{E}{x+g} \text{ und } i_2 = \frac{E}{x+g+W}$$

daraus

$$x = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \cdot W - g$$

$$E = C \cdot \alpha_1 (x+g).$$

Tabelle 24 gibt die an 4 Strängen beobachteten Werte.

Die in den Tabellen 4—15 und 17—21 gegebenen Messungen wurden, um von Schwankungen der Witterungs- und Temperaturverhältnisse während der Beabachtungszeit möglichst befreit zu sein, nur an solchen Leitungen vorgenommen, die das Haus nicht verliefsen; letzteres war durch Centralheizung in allen Räumlichkeiten ziemlich gleichmäfsig erwärmt.

| $W$ | $\alpha$ | $E$ in Volt | $x$ in $\Omega$ | Nr. der Tab. |
|---|---|---|---|---|
| $g+0$ | 29 | 0,49 | 16850 | |
| $g+9000$ | 19 | | | |
| $g+0$ | 37,1 | 0,37 | 9460 | 24 |
| $g+9000$ | 19,3 | | | |
| $g+0$ | 23,0 | 0,57 | 23550 | |
| $g+9000$ | 16,7 | | | |
| $g+0$ | 12,45 | 0,37 | 28090 | |
| $g+9000$ | 9,45 | | | |

Der Isolationswiderstand wächst, wenn die Pole der Batterie angelegt bleiben, erst etwas schneller, dann langsamer (nach Tabelle 21 und 22 war der Isolationswiderstand innerhalb 24 Stunden von 1653 auf 3500 Megohm angestiegen) und selbst nach längerer Beobachtungszeit läfst sich kein Gleichgewichtszustand erkennen (Tabelle 11).

Eine Leitung, die vorher andauernd auf Isolation gegen die Erde geprüft war, gibt, wenn sie durch ein Galvanometer an Erde gelegt wird, keinen Ausschlag; bei einer solchen, die vorher andauernd auf Isolation gegen sich selbst geprüft war, tritt dagegen ein lange andauernder schwacher Entladungsstrom auf, (Tabelle 22a). Die Entladung findet durch die Isolation der Leitung statt, indem ein in den Stromkreis noch hinzugefügter hoher Widerstand die Ausschläge des Galvanometers nur wenig beeinflufst.

War an einer Leitung vor der Messung einige Zeit der entgegengesetzte Pol angelegt,

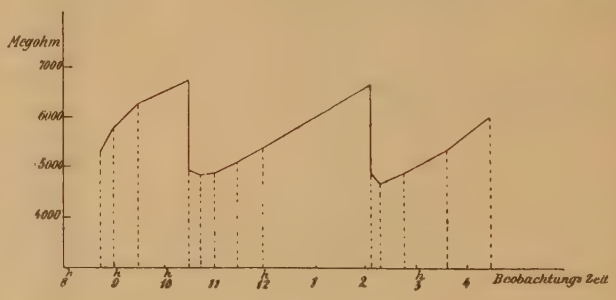


Fig. 14.

so macht sich dies dadurch kenntlich, dafs die Ausschläge der Galvanometer anfangs zunehmen, bis zu einem Maximum ansteigen und erst dann allmählich sinken. Der Isolationswiderstand nimmt nach dem Polwechsel sofort einen kleineren Wert an, der nach längerer oder

kürzerer Zeit ein Minimum erreicht und dann wieder zu steigen anfängt. Werden mehrere Messungen nach einander vorgenommen, jedes folgende Mal mit entgegengesetztem Pol, so sinkt der Anfangswert der folgenden Reihe jedesmal unter den Endwert der vorhergehenden herab (Tabelle 13, 14 und 15 Fig. 14). Wie rasch die stetige Änderung des Galvanometerausschlages mit Beginn der Messung vor sich geht, zeigt in Sonderheit sehr deutlich Tabelle 16. Die in Tabelle 1 und 2 gegebenen Werte sind an einer Leitung beobachtet worden, die ins Freie führt, und Tabelle 3 gibt die momentanen Schwankungen dieser Leitung bei Regen und Wind.

Um zu ersehen, in wieweit ähnliche Vorschriften, wie sie bei Kabelprüfungen aufgestellt werden, bei Isolationsmessungen an elektrischen Beleuchtungsanlagen zu vergleichbaren Resultaten führen könnten, sind in Tabelle 25 die Schwankungen der aus Tabelle 4—21 gewonnenen Werte zusammengestellt.

| Nach Tabelle Nr. | Pol an Erde gelegt | Zeitdauer der Abnahme des Isolationswiderstandes in Minuten | Gesamtabnahme in % | vom Beginne des Zunehmens Zunahme in den ersten 15 Minuten in % | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | + | 0 | 0 | 7 | |
| 5 | − | 0 | 0 | 3,5 | |
| 6 | + | 30 | 2,3 | 0,8 | |
| 7 | − | 10 | 2,8 | 2,0 | |
| 8 | + | 0 | 0 | 13 | |
| 9 | + | 10 | 7,5 | 1,7 | |
| 10 | − | 10 | 5,5 | 2,4 | 25 |
| 11 | + | 0 | 0 | 7,1 | |
| 12 | − | 60 | 22 | 3,7 | |
| 13 | − | 0 | 0 | 6,7 | |
| 14 | + | 10 | 1,6 | 1 | |
| 15 | − | 3 | 5,4 | 3 | |
| 17 | | 0 | 0 | 8,4 | |
| 18 | Isolation | 0 | 0 | 18 | |
| 19 | der | 0 | 0 | 25 | |
| 20 | Leitung | 0 | 0 | 26 | |
| 21 | gegen sich | 5 | 4,2 | 5,7 | |
| 22 | selbst | 360 | 54 | 0,15 | |

Die Bestimmung, mit einem immer gleichen Pol zu messen und nach einer bestimmten Zeit abzulesen, würde nach Tabelle 25 nicht zu vergleichbaren Werten führen. Wie man trotzdem ziemlich reproducierbare Resultate erhalten kann, möge folgender Versuch erkenntlich machen.

Ein gut isolierendes Leitungsnetz (I. 1) von ziemlicher Ausdehnung wurde bezüglich seiner Isolation gegen die Erde untersucht, nachdem beide Zweige parallel geschaltet waren, in der Art, dafs an die Leitung nach Anordnung 2 der Pol einer Batterie von 89 *V* Spannung angelegt, alle 2 Minuten der Ausschlag im Galvanometer abgelesen und jede 5. Minute der Pol gewechselt wurde. Es ergab sich:

| Beobachtungszeit | | Pol an Erde: | durch $L$ $a$ | durch 100000 $\Omega$ $a_1$ | Isolations-Widerstand in Megohm | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|
| nachmitt.: | $4^h\ 25^m$ | | 15,5 | | 5450 | |
| | 27 | | 16,2 | 847 | 5220 | |
| | 29 | + | 16,35 | | 5170 | |
| | 30 | | 16,4 | | 5150 | |
| | 30 | | 18,0 | | 4680 | |
| | 32 | − | 16,45 | 845 | 5130 | 26 |
| | 34 | | 15,55 | | 5450 | |
| | 35 | | 15,35 | | 5500 | |
| | 35 | | 19,0 | | 4430 | |
| | 37 | + | 17,5 | 843 | 4820 | |
| | 39 | | 17,05 | | 4940 | |
| | 40 | | 16,95 | | 4970 | |

| Beobachtungs-zeit | Pol an Erde : | durch $L$ $a$ | durch 100000 $\Omega$ $a_1$ | Isolations-Widerstand in Megohm | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|
| nachmitt.: 4h 40m | | 18,5 | | 4550 | |
| 42 | — | 17,3 | 842 | 4870 | |
| 44 | | 15,7 | | 5360 | |
| 45 | | 15,5 | | 5430 | |
| 45 | | 19,5 | | 4310 | |
| 47 | + | 18,1 | 840 | 4640 | |
| 49 | | 17,4 | | 4820 | |
| 50 | | 17,15 | | 4900 | |
| 50 | | 19,3 | | 4340 | |
| 52 | — | 17,6 | 837 | 4750 | |
| 54 | | 16,0 | | 5230 | |
| 55 | | 15,6 | | 5360 | |
| 55 | | 19,6 | | 4260 | |
| 57 | + | 18,2 | 835 | 4580 | |
| 59 | | 17,5 | | 4770 | |
| 60 | | 17,3 | | 4820 | |
| 5h 0m | | 19,6 | | 4260 | |
| 2 | — | 17,9 | 834,5 | 4660 | |
| 4 | | 16,0 | | 5210 | |
| 5 | | 15,6 | | 5340 | |
| 5 | | 19,9 | | 4190 | |
| 7 | + | 18,7 | 834,5 | 4460 | |
| 9 | | 17,7 | | 4710 | |
| 10 | | 17,5 | | 4770 | |
| 10 | | 19,7 | | 4230 | |
| 12 | — | 18,0 | 834 | 4630 | |
| 14 | | 16,2 | | 5150 | |
| 15 | | 15,8 | | 5280 | |
| 15 | | 20,0 | | 4170 | 26 |
| 17 | + | 18,8 | 833,5 | 4430 | |
| 19 | | 17,85 | | 4670 | |
| 20 | | 17,55 | | 4750 | |
| 20 | | 19,9 | | 4180 | |
| 22 | — | 18,3 | 833,5 | 4550 | |
| 24 | | 16,4 | | 5080 | |
| 25 | | 15,9 | | 5240 | |
| 25 | | 20,1 | | 4140 | |
| 27 | + | 18,9 | 833,5 | 4410 | |
| 29 | | 18,0 | | 4620 | |
| 30 | | 17,75 | | 4690 | |
| 30 | | 20,0 | | 4170 | |
| 32 | — | 18,5 | 833,5 | 4500 | |
| 34 | | 16,5 | | 5050 | |
| 35 | | 16,0 | | 5210 | |
| 35 | | 20,2 | | 4130 | |
| 37 | + | 19,0 | 833,5 | 4380 | |
| 39 | | 18,1 | | 4600 | |
| 40 | | 17,8 | | 4680 | |
| 40 | | 20,1 | | 4150 | |
| 42 | — | 18,4 | 833,5 | 4520 | |
| 44 | | 16,4 | | 5070 | |
| 45 | | 16,0 | | 5210 | |

| Beobachtungszeit | Pol an Erde | durch $L$ $\alpha$ | durch 100 000 $\Omega$ $\alpha_1$ | Isolationswiderstand in Megohm | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|
| nachmitt.: $5^h 45^m$ | | 20,45 | | 4070 | |
| 47 | + | 19,5 | 833 | 4270 | |
| 49 | | 18,5 | | 4500 | |
| 50 | | 18,1 | | 4600 | |
| 50 | | 20,2 | | 4120 | |
| 52 | − | 18,0 | 833 | 4620 | 26 |
| 54 | | 16,0 | | 5200 | |
| 55 | | 15,8 | | 5270 | |
| 55 | | 20,45 | | 4070 | |
| 57 | + | 19,3 | 833 | 4320 | |
| 59 | | 18,3 | | 4550 | |
| 60 | | 18,0 | | 4620 | |
| $6^h$ $0^m$ | − | 20,3 | 833 | 4110 | |

In Fig. 15 sind die Isolationswiderstände als Ordinaten, die zugehörigen Zeiten als Abscissen aufgetragen. Es ist ersichtlich, dafs durch dieses ständige Polwechseln der Isolationswiderstand auf einen ziemlich niedrigen Wert herabgedrückt wird, dafs dieser Wert für beide Pole nur mehr geringe Differenzen zeigt und sich nach einiger Zeit ziemlich konstant hält. Ein Einwurf, der sich gegen diese Methode der Messung machen liefse, wäre der, dafs dadurch nicht der Isolationsstrom, sondern der Ladungsstrom gemessen wird und somit die Kapazität des Leitungsnetzes den Wert für den Isolationswiderstand herabdrücken mufs. Dem ist jedoch nicht so. Der Ladungsstrom, welcher unabhängig von der Isolierung ist und nur die Kabelseele analog den Metallbelegen eines Kondensators ladet, wird der Galvanometernadel, welche in der dämpfenden Kupferhülle sich aperiodisch bewegt, allerdings einen plötzlichen Stofs erteilen, er kann jedoch die in obiger Weise gefundene Ablenkung, welche sich immerhin mehrere Sekunden konstant hält, nicht beeinflussen. Der Ladungsstrom jedoch, welcher die isolierende Hülle elektrisiert und andauert, kann als Isolationsstrom betrachtet werden, da wir annehmen können, dafs durch diesen selbst die allmähliche Ladung des Dielektrikums vor sich geht. Des weiteren ist aus Fig. 15 ersichtlich der Unterschied, ob mit dem + oder — Pol gemessen wurde. Der Isolationswiderstand nimmt wesentlich kleinere Werte an, wenn mit — Pol gemessen und + Pol zur Erde gelegt wird, als umgekehrt. Dieser Unterschied ist wohl mit Veranlassung zu der verbreiteten Regel geworden, dafs man bei Isolationsmessungen immer den + Pol zur Erde und den — Pol an die Leitung legen solle. Auch infolge der möglicherweise vorhandenen elektromotorischen Kraft der Leitung (Tabelle 23 und 24) mufs sich eine Differenz der Ablesungen für die beiden Pole ergeben und um diese Unterschiede zu eliminieren, würde es sich empfehlen, Isolationsmessungen nur mit Wechselstrom und Telephonbrücke vorzunehmen. Da die Einstellungen der Telephonbrücke sich jedoch als sehr unzuverlässig

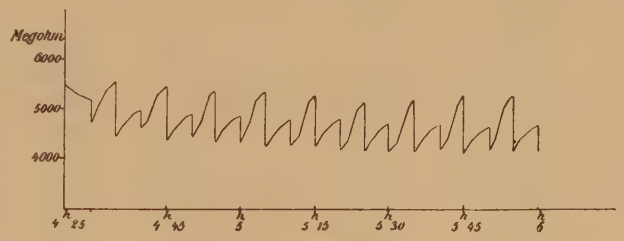


Fig. 15.

ergeben, glaubte ich davon Abstand nehmen zu müssen und legte meinen Messungen folgende Regel zu Grunde:

»Um einen Isolationswiderstand zu messen, legt man einen Pol zur Erde, den anderen an die zu prüfende Leitung, notiert die Ablesung am Galvanometer, kommutiert die Pole, liest wieder ab, kommutiert wieder etc. etc. so lange, bis sich für beide Seiten der Ablesung gleiche oder, wenn dies nicht möglich (wenn elektrische Kräfte in der Leitung wirken oder die Multiplikatorrolle nicht richtig steht), konstante Werte ergeben.«

Der Berechnung wird das arithmetische Mittel der beiden Ablesungen zu Grunde gelegt. Auf diese Weise erhielt ich für den Isolationswiderstand einer Leitung zu verschiedenen Zeiten bei fast gleichen Umständen nahezu dieselben Werte. Bei Isolationsbestimmungen zwischen den einzelnen Zweigen einer Leitung macht sich ein Unterschied für beide Pole nur dann geltend, wenn bezüglich

der Isolation gegen die Erde beide Zweige wesentlich verschiedene Werte liefern; doch ist der ständige Polwechsel für jeden Fall zur Anwendung gebracht worden, da dadurch der absolute Wert des Widerstandes auch hier bedeutend herabgedrückt wird und deshalb nur dieser Wert mit dem des in obiger Weise bestimmten Isolationswiderstandes gegen die Erde sich wird vergleichen lassen.

## VI.

Die im folgenden gegebenen Tabellen dienen zur Bestimmung der Abhängigkeit des Isolationswiderstandes von der Spannung der Meßbatterie. In erster Linie wurde untersucht, ob sich ein wesentlicher Unterschied geltend macht, ob man bei diesen Messungen von niederer zu hoher Spannung oder umgekehrt übergeht. Tabelle 27, 28 und 29 lassen erkennen, daß ein solcher Unterschied nicht existiert; die teilweise auftretenden Verschiedenheiten liegen innerhalb der Beobachtungsfehler.

| Gemessen mit Volt Spannung | durch L $\alpha_1$ | durch W $\alpha_2$ | Isolationswiderst. in Megohm | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|
| 7,4 | 1 | 110,3 | 11030 | Isolation der Leitung I 1 gegen sich. Anordnung 2 W=100 000 Ω | 27 |
| 14,8 | 2,7 | 221 | 8180 | | |
| 22,1 | 4,3 | 331 | 7700 | | |
| 29,4 | 6,0 | 442 | 7370 | | |
| 36,7 | 7,7 | 551 | 7160 | | |
| 44,4 | 9,4 | 661 | 7040 | | |
| 51,6 | 11,25 | 772 | 6860 | | |
| 51,6 | 11,3 | 772 | 6840 | | |
| 44,4 | 9,4 | 661 | 7040 | | |
| 36,7 | 7,7 | 551 | 7160 | | |
| 29,4 | 6,0 | 442 | 7370 | | |
| 22,1 | 4,3 | 331 | 7700 | | |
| 14,8 | 2,7 | 221 | 8180 | | |
| 7,4 | 1,05 | 110.3 | 10500 | | |
| 7,4 | 1›3 | 109 | 8300 | Isolation der Leitung I 1 gegen sich. Anordnung 2 W=100 000 Ω | 28 |
| 24,8 | 2›85 | 219 | 7680 | | |
| 12,1 | 4›55 | 327,5 | 7200 | | |
| 29,4 | 6›3 | 437,5 | 6950 | | |
| 36,7 | 8›05 | 546 | 6780 | | |
| 44,4 | 9›85 | 653 | 6630 | | |
| 51,6 | 11›75 | 763 | 6500 | | |
| 51,6 | 11,70 | 763 | 6500 | | |
| 44,4 | 9,85 | 653 | 6630 | | |
| 36,7 | 8,1 | 545 | 6730 | | |
| 29,4 | 6,25 | 437 | 6980 | | |
| 22,1 | 4,55 | 327,5 | 7200 | | |
| 14,8 | 2,9 | 218,5 | 7540 | | |
| 7,4 | 1,3 | 109 | 8300 | | |
| 10,4 | 3,95 | 72,5 | 3670 | Isolation der Leitung Ip. gegen sich. Anordnung 2 W=200 000 Ω | 29 |
| 20,8 | 9,0 | 148 | 3288 | | |
| 31,2 | 14,2 | 221 | 3112 | | |
| 41,6 | 19,4 | 296 | 3052 | | |
| 52,0 | 27,1 | 402 | 2966 | | |
| 52,0 | 27 | 401 | 2970 | | |
| 41,6 | 19,4 | 296 | 3052 | | |
| 31,2 | 14,1 | 221 | 3134 | | |
| 20,8 | 9,1 | 148 | 3252 | | |
| 10,4 | 4,0 | 72,5 | 3630 | | |

Die folgenden Messungen, die zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Leitungen vorgenommen wurden, behandeln:

a) die Isolation gegen die Erde,
b) die Isolation der einzelnen Zweige gegen sich selbst,

c) die Isolation der einzelnen Zweige gegen sich selbst im Vergleiche zur Isolation der einzelnen Zweige gegen die Erde.

Gruppe a:

| Gemessen mit Volt Spannung | durch L $\alpha_1$ | durch W $\alpha_2$ | Isolaltionswiderst. in Megohm | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|
| 7,4 | 0,83 | 58,1 | 7010 | Leitung I 1 Anordnung 2 W=100000 | 30 |
| 14,8 | 1,67 | 116,5 | 6980 | | |
| 22,1 | 2,53 | 175,8 | 6950 | | |
| 29,4 | 3,5 | 233,5 | 6680 | | |
| 36,7 | 4,43 | 292,3 | 6600 | | |
| 44,4 | 5,35 | 350,3 | 6550 | | |
| 51,6 | 6,33 | 409 | 6460 | | |
| 7,4 | 0,95 | 72 | 7590 | Leitung I 1 Anordnung 2 W=100000 | 31 |
| 14,8 | 2,0 | 145 | 7250 | | |
| 22,1 | 3,1 | 216,8 | 7000 | | |
| 29,4 | 4,23 | 288,5 | 6830 | | |
| 36,7 | 5,35 | 361 | 6750 | | |
| 44,4 | 6,60 | 433 | 6580 | | |
| 51,6 | 7,8 | 503,8 | 6470 | | |
| 7,4 | 0,6 | 69 | 11500 | Leitung I 1 Anordnung 2 W=100000 | 32 |
| 14,8 | 1,25 | 138 | 11040 | | |
| 22,1 | 1,9 | 207 | 10900 | | |
| 29,4 | 2,6 | 276 | 10610 | | |
| 36,7 | 3,3 | 345 | 10470 | | |
| 44,4 | 4,0 | 414 | 10350 | | |
| 51,6 | 4,8 | 483 | 10070 | | |
| 7,4 | 0,65 | 69 | 10600 | Wie in 32 | 33 |
| 14,8 | 1,32 | 138 | 10420 | | |
| 22,1 | 2,0 | 207 | 10350 | | |
| 29,4 | 2,75 | 276 | 10040 | | |
| 36,7 | 3,5 | 345 | 9860 | | |
| 44,4 | 4,25 | 414 | 9750 | | |
| 51,6 | 5,0 | 483 | 9670 | | |
| 7,4 | 0,73 | 69 | 9450 | Wie in 32 | 34 |
| 14,8 | 1,5 | 138 | 9200 | | |
| 22,1 | 2,28 | 207 | 9070 | | |
| 29,4 | 3,08 | 276 | 8970 | | |
| 36,7 | 3,90 | 345 | 8850 | | |
| 44,4 | 4,80 | 414 | 8620 | | |
| 51,6 | 5,73 | 483 | 8440 | | |
| 7,4 | 0,65 | 69 | 10600 | Wie in 32 | 35 |
| 14,8 | 1,38 | 138 | 10000 | | |
| 22,1 | 2,10 | 207 | 9860 | | |
| 29,4 | 2,85 | 276 | 9680 | | |
| 36,7 | 3,60 | 345 | 9600 | | |
| 44,4 | 4,3 | 414 | 9600 | | |
| 51,6 | 5,2 | 483 | 9430 | | |
| 7,4 | 16,67 | 16,9 | 10,15 | Leitung I im Keller Anordnung 2 W=10000 Ω | 36 |
| 14,8 | 33,5 | 34 | 10,15 | | |
| 22,1 | 50,0 | 50,7 | 10,13 | | |
| 29,4 | 67,3 | 67,5 | 10,01 | | |
| 36,7 | 84,1 | 84,1 | 10,00 | | |
| 44,4 | 100,5 | 100,1 | 9,98 | | |
| 51,6 | 117,1 | 116,5 | 9,94 | | |

Gruppe b:

| Gemessen mit Volt Spannung | durch $L$ $\alpha_1$ | durch $W$ $\alpha_2$ | Isolationswiderstand in Megohm | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 37,9 | 39,3 | 2710 | Leitung I p. Anordnung 1 $\alpha_1$ durch $W$ $\alpha_2$ durch $(W+L)$ $W = 100000\ \Omega$ | 37 |
| 4 | 75,8 | 78,8 | 2530 | | |
| 6 | 114,0 | 118,8 | 2380 | | |
| 10,4 | 190,2 | 198,6 | 2260 | | |
| 20,7 | 392 | 410 | 2180 | | |
| 31,2 | 589 | 617 | 2100 | | |
| 41,5 | 784 | 823 | 2010 | | |
| 2 | 1,0 | 14,5 | 2900 | Leitung I p. Anordnung 2 $W = 200000\ \Omega$ | 38 |
| 4 | 2,6 | 29,2 | 2246 | | |
| 6 | 4,1 | 44 | 2146 | | |
| 10,4 | 7,0 | 72,5 | 2072 | | |
| 20,7 | 14,6 | 148 | 2026 | | |
| 31,2 | 22,4 | 221 | 1972 | | |
| 41,5 | 30,7 | 295 | 1922 | | |
| 2 | 2,1 | 14,8 | 1409 | Leitung I p. Anordnung 2 $W = 200000\ \Omega$ | 39 |
| 4 | 4,2 | 29,6 | 1409 | | |
| 6 | 6,3 | 44,3 | 1406 | | |
| 10,4 | 10,9 | 73,2 | 1343 | | |
| 20,7 | 22,9 | 149,2 | 1303 | | |
| 31,2 | 35,5 | 222 | 1250 | | |
| 41,5 | 48,4 | 299 | 1235 | | |
| 2 | 2,0 | 14,8 | 1480 | wie in 39 | 40 |
| 4 | 4,1 | 29,5 | 1440 | | |
| 6 | 6,3 | 44,3 | 1406 | | |
| 10,4 | 11,0 | 73,1 | 1331 | | |
| 20,7 | 23,2 | 149,1 | 1285 | | |
| 31,2 | 36,0 | 222 | 1233 | | |
| 41,5 | 48,8 | 298 | 1221 | | |
| 2 | 2,0 | 14,8 | 1480 | wie in 39 | 41 |
| 4 | 4,1 | 29,5 | 1439 | | |
| 6 | 6,5 | 44,2 | 1360 | | |
| 10,4 | 11,0 | 73,1 | 1329 | | |
| 20,7 | 23,2 | 149,2 | 1286 | | |
| 31,2 | 36,2 | 223,0 | 1232 | | |
| 41,5 | 50,0 | 298,0 | 1192 | | |
| 10,4 | 23,5 | 119,7 | 1183 | Leitung I p. Anordnung 2 $W = 200000\ \Omega$ | 42 |
| 20,8 | 48,5 | 252 | 998 | | |
| 31,2 | 75,2 | 363 | 964 | | |
| 41,6 | 102,5 | 487 | 950 | | |
| 56,4 | 142 | 660 | 928 | | |
| 10,4 | 26 | 120 | 921 | wie in 42 | 43 |
| 20,8 | 54,2 | 240 | 884 | | |
| 31,2 | 82,9 | 365 | 880 | | |
| 41,6 | 112 | 485 | 866 | | |
| 56,4 | 152,5 | 660 | 864 | | |
| 10,4 | 26,3 | 420 | 920 | wie in 42 | 44 |
| 20,8 | 55,3 | 242 | 874 | | |
| 31,2 | 85,5 | 364 | 852 | | |
| 41,6 | 117 | 485 | 828 | | |
| 56,4 | 163 | 660 | 810 | | |

| Gemessen mit Volt Spannung | durch $L$ $\alpha_1$ | durch $W$ $\alpha_2$ | Isolationswiderstand in Megohm | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|
| 10,4 | 27,2 | 119,7 | 880 | wie in 42 | |
| 20,8 | 56,8 | 242 | 852 | | |
| 31,2 | 87,5 | 363 | 830 | | 45 |
| 41,6 | 118,5 | 487 | 818 | | |
| 56,4 | 163 | 660 | 806 | | |
| 10,4 | 22,7 | 119,8 | 1054 | wie in 42 | |
| 20,8 | 47,8 | 242 | 1012 | | |
| 31,2 | 74,5 | 364 | 976 | | 46 |
| 41,6 | 101,2 | 485 | 958 | | |
| 56,4 | 141,7 | 660 | 931 | | |
| 10,4 | 23,2 | 119,8 | 1032 | wie in 42 | |
| 20,8 | 48,2 | 242 | 1004 | | |
| 31,2 | 74,2 | 364 | 980 | | 47 |
| 41,6 | 101,2 | 485 | 954 | | |
| 56,4 | 142 | 660 | 930 | | |
| 10,4 | 18,3 | 119,8 | 1309 | wie in 42 | |
| 20,8 | 38,6 | 242 | 1253 | | |
| 31,2 | 60,4 | 365 | 1209 | | 48 |
| 41,6 | 82 | 489 | 1193 | | |
| 56,4 | 114,2 | 660 | 1156 | | |
| 10,4 | 17,6 | 119,8 | 1361 | Leitung I p. | |
| 20,8 | 37,6 | 242 | 1287 | Anordnung 2 | |
| 31,2 | 58,3 | 365 | 1252 | $W = 200000\ \Omega$ | 49 |
| 41,6 | 80,0 | 489 | 1222 | | |
| 56,4 | 110,5 | 660 | 1194 | | |
| 10,4 | 13 | 118,6 | 1820 | wie in 49 | |
| 20,8 | 26,5 | 241 | 1814 | | |
| 31,2 | 41,1 | 365 | 1772 | | 50 |
| 41,6 | 56,5 | 488 | 1723 | | |
| 56,4 | 78,0 | 660 | 1688 | | |
| 7,4 | 4 | 84,1 | 2103 | Leitung I 1 | |
| 14,8 | 8,1 | 170 | 2100 | Anordnung 2 | |
| 22,1 | 12,4 | 254 | 2080 | $W = 100000\ \Omega$ | |
| 29,4 | 16,9 | 340 | 2050 | | 51 |
| 36,7 | 21,6 | 427 | 1970 | | |
| 44,4 | 26,2 | 512 | 1950 | | |
| 51,6 | 31,1 | 596 | 1915 | | |
| 7,4 | 3,8 | 75,1 | 1975 | wie in 51 | |
| 14,8 | 7,7 | 150 | 1948 | | |
| 22,1 | 11,8 | 226 | 1917 | | |
| 29,4 | 16,3 | 301 | 1865 | | 52 |
| 36,7 | 20,7 | 378 | 1825 | | |
| 44,4 | 25,5 | 452 | 1770 | | |
| 51,6 | 30,3 | 527 | 1736 | | |
| 7,4 | 3,6 | 75 | 2080 | wie in 51 | |
| 14,8 | 7,4 | 151,5 | 2045 | | |
| 22,1 | 11,4 | 228 | 2000 | | |
| 29,4 | 15,6 | 303 | 1940 | | 53 |
| 36,7 | 19,9 | 380 | 1910 | | |
| 44,4 | 24,0 | 457 | 1900 | | |
| 51,6 | 28,5 | 532 | 1860 | | |

| Gemessen mit Volt Spannung | durch $L$ $\alpha_1$ | durch $W$ $\alpha_2$ | Isolationswiderstand in Megohm | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|
| 7,4 | 3,2 | 75,0 | 2340 | Leitung I 1 Anordnung 2 $W = 100000\ \Omega$ | 54 |
| 14,8 | 6,6 | 151,5 | 2290 | | |
| 22,1 | 10,0 | 228 | 2280 | | |
| 29,4 | 13,6 | 303 | 2230 | | |
| 36,7 | 17,2 | 380 | 2210 | | |
| 44,4 | 21,0 | 457 | 2170 | | |
| 51,6 | 24,7 | 532 | 2150 | | |
| 7,4 | 2,9 | 75,0 | 2580 | wie in 54 | 55 |
| 14,8 | 6,0 | 152 | 2530 | | |
| 22,1 | 9,2 | 228 | 2480 | | |
| 29,4 | 12,6 | 304 | 2410 | | |
| 36,7 | 16,0 | 381 | 2380 | | |
| 44,4 | 19,5 | 458 | 2340 | | |
| 51,6 | 23,0 | 532 | 2310 | | |
| 7,4 | 3,1 | 75,0 | 2420 | wie in 54 | 56 |
| 14,8 | 6,3 | 152 | 2400 | | |
| 22,1 | 9,8 | 228 | 2330 | | |
| 29,4 | 13,2 | 304 | 2300 | | |
| 36,7 | 17,0 | 381 | 2240 | | |
| 44,4 | 20,7 | 458 | 2210 | | |
| 51,6 | 24,4 | 532 | 2180 | | |
| 7,4 | 1,9 | 75,0 | 3940 | wie in 54 | 57 |
| 14,8 | 4,1 | 150 | 3660 | | |
| 22,1 | 6,5 | 227 | 3490 | | |
| 29,4 | 9,0 | 302 | 3360 | | |
| 36,7 | 12,0 | 379 | 3170 | | |
| 44,4 | 14,6 | 454 | 3100 | | |
| 51,6 | 17,7 | 529 | 2980 | | |
| 7,4 | 2,75 | 80 | 2900 | wie in 54 | 58 |
| 14,8 | 5,6 | 160 | 2858 | | |
| 22,1 | 8,7 | 239,5 | 2758 | | |
| 29,4 | 11,9 | 320 | 2690 | | |
| 36,7 | 15,2 | 400 | 2630 | | |
| 44,4 | 18,6 | 480 | 2580 | | |
| 51,6 | 22,3 | 559 | 2510 | | |
| 7,4 | 2,95 | 79 | 2680 | Leitung I 1 Anordnung 2 $W = 100000\ \Omega$ | 59 |
| 14,8 | 6,1 | 160 | 2620 | | |
| 22,1 | 9,4 | 239 | 2540 | | |
| 29,4 | 12,9 | 319 | 2470 | | |
| 36,7 | 16,4 | 399 | 2430 | | |
| 44,4 | 20,1 | 479 | 2380 | | |
| 51,6 | 24,0 | 557 | 2310 | | |
| 7,4 | 8,7 | 11,9 | 27,4 | Leitung I mit Anschluss ins Maschinenhaus Anordnung 2 $W = 20000\ \Omega$ | 60 |
| 14,8 | 17,65 | 23,8 | 27,0 | | |
| 22,1 | 26,6 | 35,65 | 26,8 | | |
| 29,4 | 35,95 | 47,6 | 26,5 | | |
| 36,7 | 45,55 | 59,3 | 26,1 | | |
| 44,4 | 54,25 | 70,7 | 26,0 | | |
| 51,6 | 64 | 82,6 | 25,8 | | |

Gruppe c: Um rasch nacheinander die Isolationen gegen die Erde und die der einzelnen Zweige gegen sich selbst untersuchen zu können, wurden die weiteren Messungen nach Anordnung 3 (Fig. 16) vorgenommen. Das Galvanometer wird mit Ableitung zur Erde erst bei $A$ und $B$ angelegt und der Isolationswiderstand $y$ bezw. $x$ der einzelnen Zweige

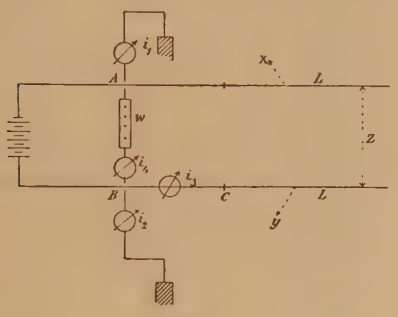

Fig. 16.

gegen die Erde gemessen, dann zwischen $B$ und $C$ eingeschaltet und der Isolationswiderstand $z$ der einzelnen Zweige gegen sich und endlich zwischen $A$ oder $B$ mit dem Vergleichswiderstand $W$ gebracht und die Spannung gemessen, mit welcher die Isolationen untersucht wurden. Es ist

$$i_1 = \frac{E}{y+g} \qquad i_2 = \frac{E}{x+g}$$

$$i_3 = \frac{E}{z+g} \qquad i_4 = \frac{E}{W+g}$$

daraus

$$x = \frac{a_4}{a_2}(W+g) - g$$

$$y = \frac{a_4}{a_1}(W+g) - g$$

$$z = \frac{a_4}{a_1}(W+g) - g$$

Zur raschen Versetzung des Galvanometers in die einzelnen Lagen dienten die schon erwähnten Wippen, sowie ein Doppelschlüssel $D$.

1. Stellung. Beide Wippen nach links:

Doppelschlüssel $D$ auf Kontakt 1 $i_1 = \frac{E}{y+g}$

» » » » 2 $i_2 = \frac{E}{x+g}$

2. Stellung. Beide Wippen nach rechts: Doppelschlüssel $D$ auf Ruhekontakt 3

$$i_3 = \frac{E}{z+g}$$

3. Stellung. Beide Wippen nach innen:

Doppelschlüssel $D$ auf Kontakt 1 $i_4 = \frac{E}{W+g}$

4. Stellung. Ist der Kommutator der Batterie geöffnet und beobachtet man bei Stellung 1 Ausschläge im Galvanometer, so sind in den Leitungszweigen elektromotorische Kräfte aktiv; sind dieselben $E_1$ bezw. $E_2$, so ist

Doppelschlüssel $D$ auf Kontakt 1 $i_1' = \frac{E_1}{x+g}$

» » » » 2 $i_2' = \frac{E_2}{y+g}$

Die auf diese Weise gemachten Beobachtungsreihen sind:

| Gemessen mit Volt Spannung | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | Isolationswiderst. in Megohm x | y | z | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7,4 | 0,58 | 0,25 | 0,9 | 71,1 | 28400 | 12250 | 7920 | Leitung I 1 | |
| 14,8 | 1,2 | 0,6 | 1,8 | 142,4 | 23700 | 11870 | 7900 | | |
| 22,1 | 1,8 | 0,95 | 2,85 | 212 | 22300 | 11780 | 7440 | | |
| 29,4 | 2,44 | 1,3 | 3,84 | 283 | 21750 | 11600 | 7380 | | 61 |
| 36,7 | 3,1 | 1,7 | 4,83 | 354 | 20800 | 11410 | 7330 | | |
| 44,4 | 3,8 | 2,06 | 5,85 | 427 | 20700 | 11220 | 7280 | | |
| 51,6 | 4,45 | 2,4 | 6,9 | 497 | 20670 | 11170 | 7200 | | |
| 51,6 | 4,15 | 5,0 | 3,2 | 497 | 9930 | 11950 | 15500 | Leitung III | 62 |
| 51,6 | 2,9 | 17,3 | 3,5 | 497 | 2865 | 17100 | 14200 | Leitung V mit 110 m Kupferdraht | 63 |
| 10,4 | 0,88 | 0,59 | 1,48 | 99,3 | 16800 | 11300 | 6700 | Leitung I 1 | |
| 20,8 | 1,8 | 1,2 | 3,0 | 198,5 | 16520 | 11020 | 6620 | | |
| 31,2 | 2,8 | 1,9 | 4,6 | 298 | 15680 | 10630 | 6470 | | 64 |
| 41,6 | 3,8 | 2,7 | 6,2 | 397 | 14700 | 10450 | 6400 | | |
| 52,0 | 4,8 | 3,4 | 7,85 | 497 | 14600 | 10350 | 6330 | | |

| Gemessen mit Volt-Spannung | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | $\alpha_3$ | $\alpha_4$ | Isolationswiderstand in Megohm | | | Bemerkungen | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | x | y | z | | |
| 20,7 | 1,85 | 1,2 | 3,0 | 198 | 16500 | 10700 | 6600 | Leitung I 1 | 65 |
| 41,3 | 3,8 | 2,5 | 6,15 | 394 | 15750 | 10380 | 6410 | | |
| 62,2 | 6,0 | 4,0 | 9,7 | 593 | 14820 | 9890 | 6120 | | |
| 83,1 | 8,6 | 5,8 | 13,3 | 793 | 13650 | 9220 | 5960 | | |
| 88,7 | 9,3 | 6,25 | 14,35 | 847 | 13560 | 9100 | 5910 | | |
| 20,7 | 1,65 | 1,1 | 2,8 | 197,5 | 17940 | 11950 | 7060 | Leitung I 1 | 66 |
| 41,3 | 3,5 | 2,35 | 5,8 | 394 | 16730 | 11250 | 6780 | | |
| 62,2 | 5,55 | 3,85 | 9,1 | 592,5 | 15400 | 10700 | 6520 | | |
| 83,1 | 7,7 | 5,35 | 12,45 | 793 | 14800 | 10300 | 6360 | | |
| 88,7 | 8,4 | 5,8 | 13,6 | 847 | 14600 | 10080 | 6230 | | |
| 2,9 | 0,25 | 0,15 | 0,4 | 28,3 | 18850 | 11320 | 7070 | Leitung I 1 | 67 |
| 5,9 | 0,5 | 0,3 | 0,8 | 56,7 | 18850 | 11320 | 7070 | | |
| 20,7 | 1,8 | 1,15 | 2,9 | 198 | 17200 | 11000 | 6830 | | |
| 41,3 | 3,85 | 2,5 | 6,0 | 394 | 15740 | 10220 | 6560 | | |
| 62,2 | 5,9 | 4,0 | 9,4 | 593 | 14820 | 10060 | 6310 | | |
| 83,1 | 8,2 | 5,55 | 13,0 | 792 | 14300 | 9660 | 6100 | | |
| 88,7 | 8,9 | 6,1 | 14,0 | 847 | 13850 | 9520 | 6050 | | |
| 1,46 | 48,1 | 58,3 | 31,1 | 14 | 23,7 | 28,8 | 44,7 | Kellerleitung | 68 |
| 2,92 | 98,5 | 122 | 63,5 | 28 | 22,9 | 28,1 | 43,7 | | |
| 7,35 | 254,5 | 325 | 166 | 70,65 | 21,7 | 27,8 | 42,5 | | |
| 20,5 | 728 | 935 | 474 | 197 | 21,1 | 27,0 | 41,6 | | |
| 29,1 | 1051 | 1334 | 685 | 280 | 21,0 | 26,6 | 40,8 | | |
| 4,42 | 0,3 | 0,35 | 0,25 | 42,2 | 12100 | 14110 | 16940 | Leitung III | 69 |
| 20,7 | 1,8 | 2,25 | 1,5 | 197,5 | 8780 | 10970 | 13180 | | |
| 41,3 | 4,0 | 4,85 | 3,2 | 394,5 | 8140 | 9860 | 12330 | | |
| 62,2 | 6,4 | 7,9 | 5,1 | 593 | 7500 | 9260 | 11620 | | |
| 83,1 | 9,05 | 11,0 | 7,2 | 793 | 7210 | 8760 | 11100 | | |
| 88,7 | 9,9 | 12,0 | 7,9 | 847 | 7060 | 8560 | 10710 | | |
| 7,45 | 0,4 | 2,2 | 0,45 | 71,3 | 3240 | 17800 | 15800 | Leitung V | 70 |
| 20,7 | 1,15 | 6,65 | 1,4 | 197,5 | 2970 | 17170 | 14100 | | |
| 41,3 | 2,5 | 13,9 | 3,2 | 394,5 | 2840 | 15780 | 12320 | | |
| 62,2 | 4,2 | 22 | 5,2 | 593 | 2700 | 14100 | 11400 | | |
| 83,1 | 5,9 | 30 | 7,4 | 793 | 2640 | 13450 | 10720 | | |
| 88,7 | 6,5 | 32,7 | 8,1 | 847 | 2590 | 13020 | 10460 | | |
| 7,44 | 0,35 | 2,1 | 0,45 | 71 | 3380 | 20300 | 15730 | Leitung V | 71 |
| 20,6 | 1,1 | 6,05 | 1,35 | 196,5 | 3250 | 17850 | 14550 | | |
| 41 | 2,4 | 12,9 | 3,05 | 392 | 3040 | 16300 | 12850 | | |
| 61,9 | 4,1 | 20,0 | 5,05 | 591 | 2955 | 14730 | 11700 | | |
| 82,4 | 5,75 | 27,8 | 7,2 | 786 | 2830 | 13680 | 10900 | | |
| 88,3 | 6,3 | 30,3 | 7,9 | 843 | 2780 | 13400 | 10670 | | |
| 7,44 | 0,65 | 0,65 | 0,43 | 70,55 | 10920 | 10920 | 16500 | Leitung III | 72 |
| 20,6 | 1,8 | 2,0 | 1,3 | 196,5 | 9830 | 10910 | 15100 | | |
| 41 | 3,9 | 4,3 | 2,9 | 392 | 9100 | 10040 | 13500 | | |
| 61,9 | 6,2 | 7,0 | 4,5 | 591 | 8450 | 9530 | 13140 | | |
| 82,4 | 8,8 | 10,0 | 6,35 | 786 | 7860 | 8930 | 12380 | | |
| 4,41 | 3,4 | 4,32 | 2,22 | 1,04 | 24,1 | 30,5 | 46,7 | Leitung I 1 mit Anschluss zur Kellerleitung | 73 |
| 20,7 | 16,3 | 20,57 | 10,65 | 4,85 | 23,6 | 29,5 | 45,6 | | |
| 41,3 | 33,2 | 42,0 | 21,7 | 9,67 | 23,0 | 29,1 | 44,6 | | |
| 62,2 | 50,5 | 63,5 | 33,0 | 14,55 | 22,9 | 28,8 | 44,1 | | |
| 83,1 | 68,1 | 85,8 | 44,5 | 19,4 | 22,6 | 28,5 | 43,6 | | |
| 88,7 | 73,1 | 92,0 | 48,0 | 20,7 | 22,5 | 28,4 | 43,2 | | |
| 20,7 | 25,7 | 53 | 19,4 | 4,85 | 9,25 | 19,05 | 25,1 | Leitung I 1 mit Anschluss ins Maschinenhaus | 74 |
| 41,3 | 51 | 105,5 | 38,8 | 9,7 | 9,20 | 19,00 | 25,0 | | |
| 62,2 | 78,4 | 159 | 59,2 | 14,6 | 9,18 | 18,65 | 24,7 | | |

In den Figuren 17 und 18 sind die durch die Isolation einer Leitung bei den verschiedenen Spannungen hindurchdringenden Stromintensitäten als Ordinaten, die zu-

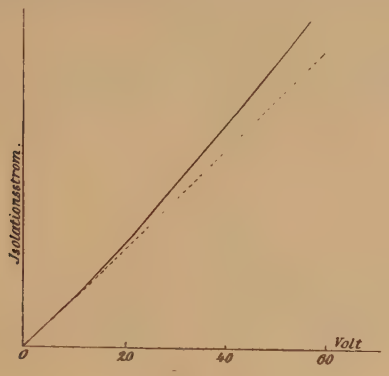


Fig. 17.

gehörigen Spannungen als Abscissen aufgetragen. Fig. 17 gibt den Stromverlauf nach Tabelle 31 (Isolationsstrom gegen die Erde)

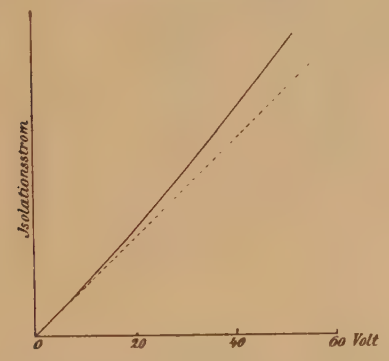


Fig. 18.

und Fig. 18 den nach Tabelle 46 (Isolationsstrom zwischen den einzelnen Zweigen der Leitung). Der Mafsstab, der beiden Figuren

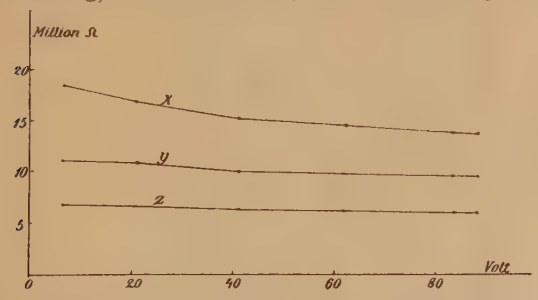


Fig. 19.

zu Grunde liegt, ist so gewählt, dafs der Isolationsstrom bei 10 $V$ Spannung = 10 mm und auch 10 $V$ = 10 mm gesetzt ist. Die sämtlichen Tabellen entsprechenden Kurven zeigen den gleichen Verlauf und folgen dem Gesetze

$$y = x + a\,x^2.$$

Der Koeffizient $a$ ist für die verschiedenen Kurven verschieden, er wird um so kleiner, je schlechter die Isolation ist. Für sehr feuchte Leitungen wird $a$ nahe gleich 0, d. h. die Isolierung leitet wie ein metallischer Körper.

In den Figuren 19, 20, 21 und 22 sind die Isolationswiderstände bei den verschiedenen Spannungen als Ordinaten, letztere als Abscissen aufgetragen.

Fig. 19 entspricht der Tabelle 67 mit dem Isolationswiderstand der Leitung I.,

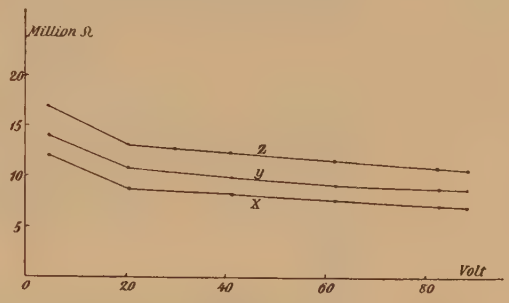


Fig. 20.

Fig. 20 der Tabelle 69 mit dem Isolationswiderstand der Leitung III.,

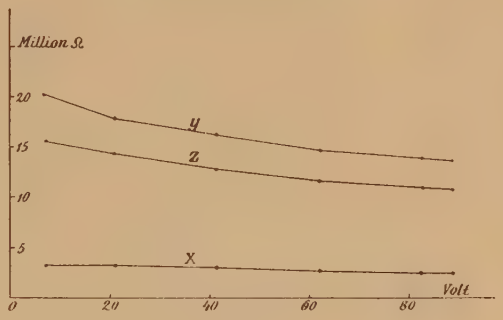


Fig. 21.

Fig. 21 der Tabelle 71 für Leitung V und

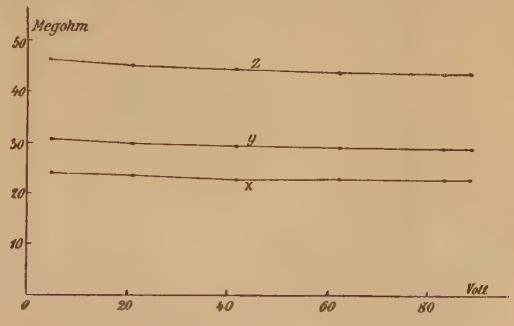


Fig. 22.

Fig. 22 der Tabelle 73 für die Leitung I 1 mit Anschlufs der feuchten Leitung in den Keller.

Um die in vorliegenden Tabellen gefundenen Resultate rechnerisch verwerten zu können, sind dieselben in 4 Gruppen zusammengefafst; die durch die Isolation dringenden Ströme in den einzelnen Leitungen sind in jeder Gruppe auf ein gemeinsames Mafs reduziert derart, dafs dieselben als $a_0$ bei der niedersten Spannung $s_0$ gemessen gleich $s_0$ gesetzt wurden, so dafs für die untersten Werte Proportionalität zwischen Isolationsstrom und Spannung angenommen, derselbe gemessen bei 10 *V* Spannung gleich 10 gesetzt ist. Da diese Proportionalität jedoch nicht besteht, so lassen sich der verschiedenen Anfangspunkte wegen die 4 Gruppen unter sich nicht strenge vergleichen. Nachstehende Tabellen geben somit die Isolationsströme durch ein und dieselbe Leitung, wenn mit den oben in *V* angegebenen Spannungen gemessen wurde. Die einzelnen Messungen liegen in dem Zeitraum von einem halben Jahre.

## Gruppe I.

| Nach Tabelle | Nr. der Leitung | Isolation der Zweige gegen | Isolationsstrom gemessen bei einer Spannung von Volt | | | | | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10,4 | 20,7 | 31,2 | 41,5 | 56,4 | |
| 37 | I p. | sich selbst | 10,4 | 21,4 | 32,1 | 43,2 | — | |
| 38 | | | | 21,6 | 33,3 | 45,7 | — | |
| 39 | | | | 21,8 | 33,9 | 46,2 | — | |
| 40 | | | | 21,9 | 34,0 | 46,2 | — | |
| 41 | | | | 21,9 | 34,2 | 47,2 | — | |
| 42 | | | | 21,4 | 33,3 | 45,4 | 62,7 | |
| 43 | | | | 21,6 | 33,1 | 44,7 | 61,0 | 75 |
| 44 | | | | 21,8 | 33,7 | 46,3 | 64,5 | |
| 45 | | | | 21,7 | 33,5 | 45,4 | 62,3 | |
| 46 | | | | 21,8 | 34,1 | 46,3 | 64,9 | |
| 47 | | | | 21,6 | 33,3 | 45,4 | 63,6 | |
| 48 | | | | 21,9 | 34,2 | 46,6 | 64,9 | |
| 49 | | | | 22,2 | 34,4 | 47,2 | 65,2 | |
| 50 | | | | 21,2 | 32,8 | 45,2 | 62,4 | |
| | | Mittel: | 10,4 | 21,7 | 33,6 | 45,8 | 63,5 | |

## Gruppe II.

| Nach Tabelle | Nr. der Leitung | Isolation der Zweige gegen | Isolationsstrom gemessen bei einer Spannung von Volt | | | | | | | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 7,4 | 14,8 | 22,1 | 29,4 | 36,7 | 44,4 | 51,6 | |
| 28 | I 1 | Erde | 7,4 | 16,2 | 25,9 | 35,9 | 45,9 | 56,0 | 66,8 | |
| 30 | | | | 14,9 | 22,7 | 31,2 | 39,5 | 47,6 | 56,5 | |
| 31 | | | | 15,6 | 24,1 | 32,9 | 41,7 | 51,3 | 60,7 | |
| 32 | | | | 15,3 | 23,5 | 32,0 | 40,7 | 49,3 | 63,7 | |
| 33 | | | | 15,0 | 22,7 | 31,3 | 39,9 | 48,4 | 57,0 | |
| 34 | | | | 15,3 | 23,1 | 31,2 | 39,5 | 48,6 | 58,1 | |
| 35 | | | | 15,7 | 23,9 | 32,4 | 41,0 | 49,0 | 59,3 | |
| 51 | | sich selbst | | 15,0 | 22,5 | 31,3 | 39,8 | 48,5 | 57,4 | |
| 52 | | | | 15,0 | 23,0 | 31,6 | 40,3 | 49,7 | 59,0 | |
| 53 | | | | 15,3 | 23,4 | 32,0 | 40,8 | 49,3 | 58,5 | |
| 54 | | | | 15,3 | 23,1 | 31,4 | 39,8 | 48,5 | 57,1 | 76 |
| 55 | | | | 15,3 | 23,4 | 32,1 | 40,8 | 49,8 | 58,7 | |
| 56 | | | | 15,0 | 23,4 | 31,5 | 40,6 | 49,5 | 58,3 | |
| 57 | III | | | 16,0 | 25,3 | 35,0 | 46,6 | 56,8 | 68,8 | |
| 58 | I 1 | | | 15,1 | 23,4 | 31,9 | 40,9 | 50,0 | 59,9 | |
| 59 | | | | 15,3 | 23,5 | 32,3 | 41,1 | 50,4 | 60,1 | |
| 60 | | | | 14,9 | 22,6 | 30,6 | 38,8 | 46,2 | 54,4 | |
| 61.1 | I 1 | Erde | | 14,8 | 22,1 | 29,6 | 38,2 | 46,8 | 54,2 | |
| 61.2 | I r | | | 17,8 | 28,1 | 38,5 | 50,3 | 59,2 | 67,4 | |
| 61.3 | I 1 | sich selbst | | 14,8 | 23,4 | 31,2 | 39,8 | 47,6 | 56,8 | |
| | | Mittel: | 7,4 | 15,4 | 23,7 | 32,3 | 41,3 | 49,1 | 59,6 | |

Gruppe III.

| Nach Tabelle | Nr. der Leitung | Isolation der Zweige gegen | Isolationsstrom gemessen bei einer Spannung von Volt | | | | | Nr. der Tab. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20,7 | 41,3 | 62,2 | 83,1 | 88,7 | |
| 73.1 | I 1 mit | Erde | 20,7 | 43,1 | 64,2 | 86,5 | 92,9 | |
| 73.2 | Anschlufs | » | | 43,1 | 63,8 | 86,1 | 92,2 | |
| 73.3 | in den Keller | sich selbst | | 43,1 | 64,2 | 86,5 | 93,5 | |
| 74.1 | I 1 mit | Erde | | 41,2 | 63,2 | — | — | 77 |
| 74.2 | Anschlufs | » | | 41,2 | 62,2 | — | — | |
| 74.3 | ins Maschinenhaus. | sich selbst | | 41,5 | 63,2 | — | — | |
| Mittel: | | | 20,7 | 41,8 | 63,4 | 86,4 | 92,9 | |
| reduziert auf Gruppe I | | | 21,7 | 43,8 | 66,4 | 90,5 | 97,4 | |

Gruppe IV.

| Nach Tabelle | Nr. der Leitung | Isolation der Zweige gegen | Isolationsstrom gemessen bei einer Spannung von Volt | | | | | Nr. der Tabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20,7 | 41,3 | 62,2 | 83,1 | 88,7 | |
| 65. 1 | I r. | Erde | 20,7 | 43,1 | 69,0 | 100,0 | 108,0 | |
| 2 | I l. | „ | | 42,5 | 67,1 | 96,4 | 104,0 | |
| 3 | I | sich selbst | | 42,5 | 66,9 | 91,8 | 99,4 | |
| 66. 1 | I l. | Erde | | 43,8 | 69,5 | 96,5 | 105,4 | |
| 2 | I r. | „ | | 44,1 | 72,5 | 101,0 | 109,0 | |
| 3 | I | sich selbst | | 42,9 | 67,4 | 92,0 | 100,5 | |
| 67. 1 | I l. | Erde | | 44,3 | 68,0 | 94,2 | 102,2 | |
| 2 | I r. | „ | | 44,9 | 72,0 | 99,8 | 109,8 | |
| 3 | I | sich selbst | | 42,9 | 67,1 | 93,0 | 100,0 | |
| 69. 1 | III l. | Erde | | 46,0 | 71,6 | 104,0 | 114,0 | |
| 2 | III r. | „ | | 44,5 | 74,7 | 101,5 | 110,2 | 78 |
| 3 | III | sich selbst | | 44,1 | 70,5 | 99,5 | 109,0 | |
| 70. 1 | V l. | Erde | | 44,9 | 75,6 | 106,0 | 117,0 | |
| 2 | V r. | „ | | 43,3 | 68,5 | 93,5 | 102,0 | |
| 3 | V | sich selbst | | 47,4 | 77,0 | 109,0 | 119,8 | |
| 71. 1 | V l. | Erde | | 45,2 | 77,3 | 108,0 | 118,8 | |
| 2 | V r. | „ | | 46,8 | 77,4 | 110,5 | 121,0 | |
| 3 | V | sich selbst | | 44,2 | 68,5 | 95,0 | 103,0 | |
| 72. 1 | III l. | Erde | | 44,7 | 71,3 | 101,0 | — | |
| 2 | III r. | „ | | 44,5 | 65,3 | 103,5 | — | |
| 3 | III | sich selbst | | 46,2 | 71,7 | 101,0 | — | |
| | | Mittel: | 20,7 | 44,5 | 71,1 | 99,8 | 108,5 | |
| | | reduziert auf Gruppe I | 21,7 | 46,7 | 74,5 | 104,5 | 113,7 | |

Diese Übersichtstabellen 75—78 zeigen, dafs die Werte für die in den verschiedenen Leitungen durch die Isolation dringenden Stromstärken (die Isolationsströme) bei denselben Spannungen aber zu verschiedenen Zeiten beobachtet, auf dieselbe Einheit reduziert, bis zu 10% vom Mittel abweichen. Teilweise mit Grund davon ist sicherlich die Schwierigkeit der ersten Ablesung, indem der Reduktion auf gemeinschaftliches Mafs die niedrigste Spannung zu Grunde gelegt ist und gerade bei niederer Spannung der Ausschlag im Galvanometer sehr klein ist. Bei diesen kleinen Werten z. B. 0,3 mm kann die Ablesung 0,35 mm das Resultat aber schon um 15% beeinflussen. Aufserdem werden diese

Zahlen auch von der Temperatur abhängen, die innerhalb der langen Beobachtungszeit natürlich beträchtlichen Schwankungen unterworfen war. Die am Schlusse jeder Gruppe angegebenen Mittelwerte können also nur Annäherungen sein. Die Mittelwerte der einzelnen Gruppen unterscheiden sich ebenfalls, namentlich die der Gruppe III gegenüber denen der anderen Gruppen. Die Gruppe III enthält die Leitungen durch feuchte Räume und es ist aus den angegebenen Zahlen leicht zu ersehen, dafs, je schlechter die Isolation einer Leitung befunden wird, umsomehr Proportionalität zwischen Isolationsstrom und Spannung vorhanden ist. In Fig. 23 sind die den Tabellen 75—78 entnommenen Isolationsströme

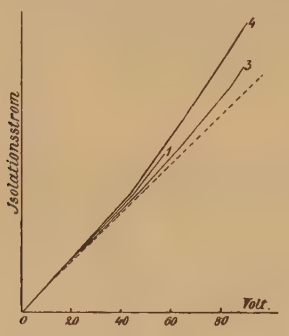


Fig. 23.

als Ordinaten, die zugehörigen Spannungen als Abscissen aufgetragen. Vollkommene Proportionalität würde die Gerade vorstellen, welche den Winkel der Achsen halbiert.

Die den einzelnen Gruppen entsprechenden Kurven folgen dem Gesetze

$$y = x + a\,x^2.$$

Wenn der durch die Isolation bei der Spannung $e$ hindurchdringende Strom

$$i = e + a \cdot e^2$$

angenommen wird, so entwickelt sich daraus der Isolationswiderstand zu

$$w = \frac{e}{i} = \frac{e}{e + a \cdot e^2}$$

und die Leitungsfähigkeit des Dielektrikums als Funktion der Spannung zu

$$l = \frac{1}{w} = 1 + a \cdot e.$$

Das erste Glied entspricht einer Leitungsfähigkeit des Dielektrikums wie der von Metallen, das zweite gibt den Zuwachs der Leitungsfähigkeit bei höherer Spannung. Ein Dielektrikum leitet um so besser, je stärker seine Moleküle polarisiert sind.

Den in Gruppe IV zusammengestellten Leitungen entspricht der Koeffizient

$$a = 0{,}00316.$$

Der in diesen Leitungen bei der Spannung $e$ Volt eintretende Stromverlust ist demnach

$$i = e + 0{,}00316 \cdot e^2$$

wenn der Stromverlust, der bei der Spannung 1 auftritt gleich 1 (genau = 1,00316) gesetzt ist.

Der Isolationswiderstand für verschiedene Spannungen ergibt sich zu

$$w = \frac{e}{e + 0{,}00316 \cdot e^2}$$

wobei wieder der Isolationswiderstand bei der Spannung 1 zu 1 (genauer 0,997) angenommen wird.

Für die Gruppe IV ergibt sich mit diesem Koeffizient berechnet:

| gemessen mit Volt-Spannung | Isolationsstrom | |
|---|---|---|
| | beobachtet | berechnet |
| 20,7 | 21,7 | 22,05 |
| 41,3 | 46,7 | 46,69 |
| 62,2 | 74,5 | 74,43 |
| 83,1 | 104,5 | 104,92 |
| 88,7 | 113,7 | 113,56 |

Den Zusammenhang zwischen dem Isolationswiderstand der einzelnen Zweige gegen die Erde und dem derselben unter sich, geben die Fig. 19, 20, 21 und 22. Der Isolationswiderstand der einzelnen Zweige gegen sich ist immer kleiner als die Summe der Isolationswiderstände der einzelnen Zweige gegen die Erde, sonst aber von denselben vollkommen unabhängig, kann selbst kleiner (Fig. 19) als einer der letzteren sein. Die Elektricitäten finden zwischen den beiden Leitungszweigen doppelten Weg, sich zu vereinigen, einmal durch den Isolationswiderstand, den die Leitung bieten würde bei absolut vollkommener Isolation gegen die Erde, dann durch die Isolation der beiden Zweige gegen die Erde; beide Widerstände hat man sich als parallel geschaltet vorzustellen.

## VII.

Bei Anwendung für die Praxis dürfte folgendes zu beachten sein.

Für die in Gruppe IV Abschnitt VI behandelten Leitungen besteht die Beziehung

$$i = e + 0{,}00316 \cdot e^2.$$

Daraus berechnen sich als zusammengehörige Werte für den Stromverlust $i$, der in einer Leitung vom Isolationswiderstand $w$ bei der Spannung $e$ eintritt, und die beiden letzteren selbst die Zahlen:

| $e$ | $i$ | $w$ |
|---|---|---|
| 1 | 1,0 | 1,00 |
| 50 | 57,9 | 0,87 |
| 100 | 131,6 | 0,76 |
| 200 | 326,4 | 0,61 |

Stellt man die Anforderung, dafs in einer guten Lichtanlage nur ein bestimmter Prozentsatz $p$ % des Maximalbetriebsstromes $J$ bei der Betriebsspannung $E$ als Verlust eintreten darf, so ist, da dieser Stromverlust

$$i = \frac{E}{w}$$

und andrerseits höchstens

$$i = J \cdot \frac{p}{100}$$

sein soll

$$\frac{E}{w} = J \cdot \frac{p}{100}$$

oder der Isolationswiderstand $w$ mufs mindestens

$$= \frac{100}{p} \cdot \frac{E}{J}$$

sein.

Setzt man diesen Verlust auf 0,02 % des Maximalbetriebsstromes fest, so wird

$$w = 5000 \cdot \frac{E}{J},$$

welchen Wert wie Eingangs erwähnt, der elektrotechnische Verein in Wien verlangt. Nach obiger Tabelle ist es jedoch wesentlich, dafs der Isolationswiderstand der Lichtanlage diesen Wert bei der Betriebsspannung $E$ aufweist. Mifst man den Isolationswiderstand jedoch bei der Spannung $e$ Volt, so mufs derselbe einen anderen höheren Wert annehmen und zwar ändert sich die Formel

$$w = \frac{100}{p} \cdot \frac{E}{J}$$

in folgender Weise ab.

Nimmt man den Isolationswiderstand bei der Spannung 1 zu 1 an, so ist

$$w_e = \frac{e}{e + a \cdot e^2}$$

Dieser Widerstand ist bei der Spannung $E$ Volt

$$w_E = \frac{E}{E + a \cdot E^2}$$

also

$$\frac{w_e}{w_E} = \frac{e \cdot (E + a\ E^2)}{E \cdot (e + a \cdot e^2)}$$

$$w_e = w_E \cdot \frac{e}{E} \cdot \frac{E + a \cdot E^2}{e + a \cdot e^2}$$

Soll also die Lichtanlage bei der Betriebsspannung $E$ Volt nur $p$ % Stromverlust des Maximalbetriebsstromes $J$ zulassen, also $w_E$ mindestens $= \frac{100}{p} \cdot \frac{E}{J}$ sein, so mufs der bei der Spannung $e$ Volt gemessene Isolationswiderstand mindestens den Wert besitzen

$$w_e = \frac{100}{p} \cdot \frac{e}{J} \cdot \frac{E + a \cdot E^2}{e + a\ e^2}$$

wobei der Koeffizient $a$ zu 0,00316 angenommen werden dürfte, indem schlechten Anlagen ein kleineres $a$ entspricht, dieselben daher den oben aufgestellten Wert von $w_e$ nur schwerer erreichen.

Immerhin wird es am besten sein, den Isolationswiderstand direkt mit Betriebsspannung zu messen und ständig zu kontrolieren.

Wie man die Messung, während die Lichtanlage in vollem Betrieb sich befindet, in einfacher Weise vornehmen kann, ergibt sich aus folgender Betrachtung.

Schliefst man eine Batterie durch vollkommen isolierende Leitungsdrähte und legt an irgend einem Punkte eine Erdleitung an, so fliefst in dieselbe kein Strom, sondern es tritt nur eine Spannungsverschiebung derart ein, dafs in diesem Punkte das Potential $0$ herrscht. Dasselbe müfste bei der in Betrieb befindlichen Lichtanlage $L$ der Fall sein, wenn dieselbe vollkommen gegen die Erde isolieren würde. Legt man jedoch an eine Leitung von nicht vollkommener Isolation gegen die Erde im Punkte $B$ z. B. dem positiven Pol der Maschine das Galvanometer mit der Erdleitung an, so wird die positive Elektricität

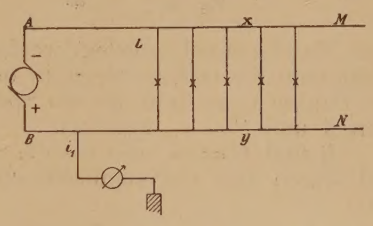


Fig 24.

durch dasselbe ungehindert abfliefsen können, jedoch nur soviel, als durch die Isolation des an dem negativen Maschinenpol anliegenden Zweiges negative Elektricität zur Erde dringen kann. Ist diese Stromstärke $i_1$ und $x$ der Isolationswiderstand des Zweiges $A\ M$, so ist

$$i_1 = \frac{E}{x + g}$$

oder

$$x = \frac{E}{i_1} - g$$

Legt man das Galvanometer mit seiner Erdleitung im Punkte $A$ an, fliefst durch dasselbe die Stromstärke $i_2$ zur Erde ab und

ist $y$ der Isolationswiderstand des Zweiges $B\,N$ gegen die Erde, so ist

$$i_2 = \frac{E}{y + g}$$

$$y = \frac{E}{i_2} - g.$$

Die Betriebsspannung $E$ ist bekannt, also ergeben sich aus den beobachteten Stromstärken $i_1$ und $i_2$ sofort die Isolationswiderstände der einzelnen Zweige gegen die Erde, ohne dafs bei dieser Messung der Betrieb im geringsten beeinflufst wird. Die in den Tabellen 61—74 angegebenen Werte sind nach dieser Anordnung gewonnen worden. Auch Herr Direktor Uppenborn hatte in dieser Weise, wie er mir nachträglich mitzuteilen die Güte hatte, in letzter Zeit die Isolationswiderstände an elektrischen Beleuchtungsanlagen z. B. in der Centrale der Stadt Schwabing bestimmt. Der Isolationswiderstand der einzelnen Zweige unter sich mufs natürlich eigens bestimmt werden. Auf diese Weise läfst sich auch leicht die Aufstellung einer Accumulatorenbatterie prüfen. Der Einfachheit halber ist bei dieser Anordnung nur zu beachten, dafs die Leitung zum Galvanometer vorzüglich isolieren und möglichst

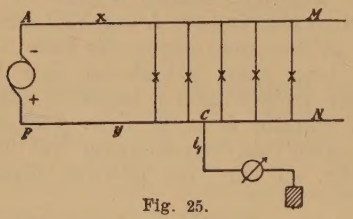


Fig. 25.

nahe am Maschinenpol angelegt werden soll. Denn legt man das Galvanometer in dem beliebigen Punkte $C$ an und ist die Spannung zwischen $A$ und $C = e_1$, zwischen $B$ und $C = e_2$, also $e_1 + e_2 = E$, so wird durch das Galvanometer zur Erde abfliefsen

die positive Elektricität $i_1 = \frac{e_1}{x}$

die negative » $i_2 = \frac{e_2}{y}$ und

die im Galvanometer beobachtete Stromstärke wird daher sein

$$i = i_1 - i_2 = \frac{e_1}{x} - \frac{e_2}{y}$$

Es müfsten daher in diesem Falle in zwei Punkten $C$ Beobachtungen gemacht und die $e$ eigens gemessen werden.

## VIII.

Die auf Grund der angegebenen Beobachtungsreihen gewonnenen Erfahrungen möchte ich dahin zusammenfassen, dafs Isolationsmessungen an Beleuchtungsanlagen am besten nach der von Ohm angegebenen Methode vorzunehmen sind derart, dafs der Pol der Mefsbatterie so lange kommutiert wird, bis die Ablenkungen der Galvanometernadel nach beiden Seiten konstante Werte annehmen, die der Berechnung zu Grunde zu legen sind. Man erhält auf diese Weise einen Minimalwert für den Isolationswiderstand, der nur von der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft, jedoch nicht von dem elektrischen Zustande des Leitungsnetzes beeinflufst ist und deshalb den Vorzug besitzt, eine reproduzierbare Gröfse vorzustellen. Die Spannung der Mefsbatterie ist, um gröfsere Ausschläge der Galvanometernadel zu erhalten und dadurch Beobachtungsfehler zu vermindern, möglichst grofs und nahe der Betriebsspannung zu wählen. Ist man jedoch, wie es in der Regel bei Anlagen, die noch nicht im Betriebe sind, der Fall sein wird, aus praktischen Gründen gezwungen, sich mit einer geringeren Spannung $e$ bei der Messung begnügen zu müssen und beobachtet man bei dieser Spannung $e$ einen Stromverlust $i$ und einen Isolationswiderstand $w_e$, so sind diese Gröfsen für die Betriebsverhältnisse, der Spannung $E$ entsprechend in Rechnung zu ziehen als:

$$J = i + 0{,}00316 \cdot i^2$$

$$W_E = w_e \cdot \frac{E}{e} \cdot \frac{e + 0{,}00316 \cdot e^2}{E + 0{,}00316 \cdot E^2}$$

($J$ in Anpère, $E$ in Volt und $W$ in Ohm ausgedrückt.)

Der Koeffizient 0,00316 ist so gewählt, dafs er mittlerer Temperatur und geringem Feuchtigkeitsgehalte der Luft entspricht. Bei höherer Temperatur und gröfserer Feuchtigkeit kommen $J$ und $W$ dem Verhältnisse der einfachen Proportion zu $i$ und $w$ mit $E$ und $e$ näher und es werden deshalb die beim Betriebe auftretenden Stromverluste und Isolationswidersände bei Leitungen durch warme und feuchte Räume im allgemeinen günstiger als die, welche die Rechnung ergeben. Bei jeder gröfseren in Betrieb befindlichen Anlage sollte der durch mangelhafte Isolation eintretende Stromverlust ständig kontrolliert und zu diesem Zwecke neben dem Erdschlufsprüfer, der durch das Aufleuchten der Glühlampe nur einen schon erfolgten Kurzschlufs zur Erde anzeigt, noch ein Galvanometer eingeschaltet werden, so dafs der Stromverlufst nach der in Abschnitt VII angegebenen Art jederzeit direkt beobachtet werden kann, wie es z. B. in der Centralstation der Stadt Schwabing in Ausführung gebracht ist. Der Isolationswiderstand der einzelnen Zweige gegen sich ist stets einer eigenen Prüfung zu unterziehen, es läfst sich nur folgern, dafs er unter allen Umständen kleiner ist als die Summe der Isolationswiderstände der einzelnen Zweige gegen die Erde.